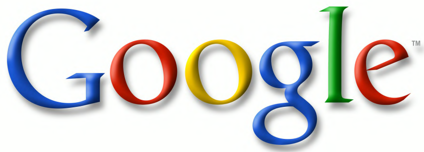
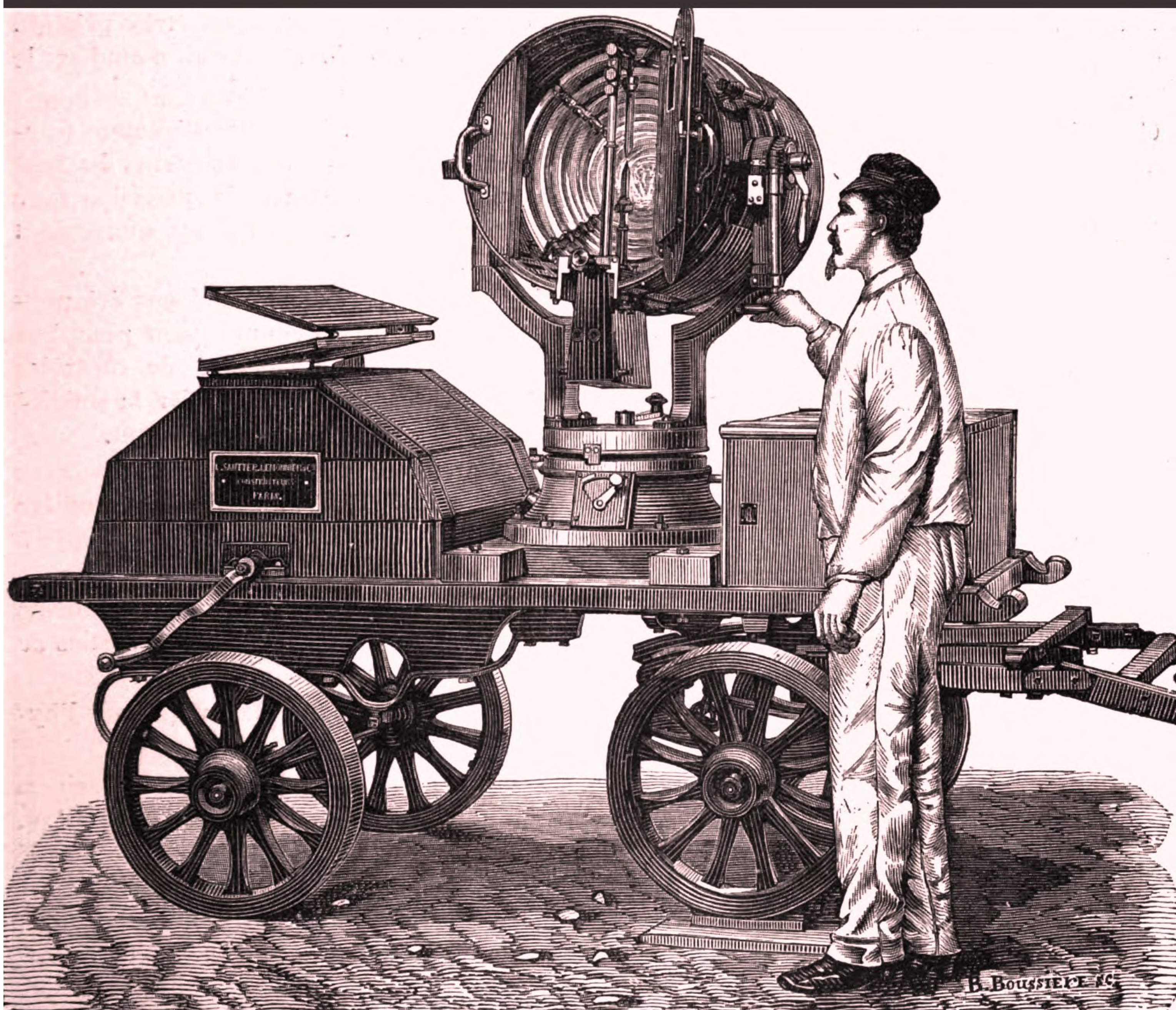
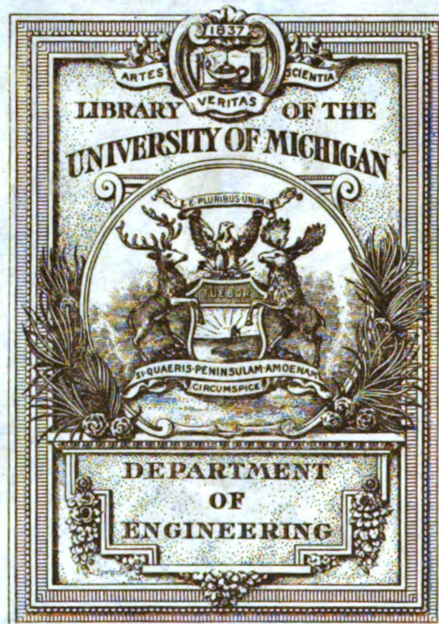




La Lumière électrique


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

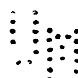
REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER



TOME II

1er TRIMESTRE 1895

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

2e Année | Samedi 5 Janvier 1895 | N° 1

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

REVUE DE L'ÉLECTRICITE

3, RUE RACINE, PARIS

Directeur P. H. LEDEBOER, Docteur ès-sciences

CHAMP TOURNANT ALTERNATIF
ET SON UTILISATION

1. — J'appellerai vecteur tournant alternatif un vecteur dont la direction tourne uniformément autour d'un axe, et qui, en faisant un tour complet prend successivement toutes les valeurs sinusoïdales proportionnelles à la grandeur alternative. Le vecteur a par conséquent ses maxima et ses zéros placés circulairement à 90° de distance et s'alternant mutuellement.

La propriété caractéristique de ce vecteur est qu'il se déplace constamment d'un même côté du diamètre passant par les deux zéros de l'intensité de ce vecteur. Pour les valeurs négatives du vecteur, on reproduit en effet la circonférence décrite pendant l'alternance précédente [1].

2. — Le vecteur tournant-alternatif peut être encore considéré comme un vecteur alternatif ordinaire doué d'une vitesse de rotation droite ou gauche telle que le vecteur fasse un tour complet pendant une période de la grandeur alternative qu'il représente.

On peut déduire de là un procédé très simple d'obtention des vecteurs tournants alternatifs.

On sait, d'après un théorème d'optique physique, transporté pour la première fois dans le domaine de l'électricité par M. Maurice Leblanc [1] et retrouvé récemment encore par le professeur Galiéo Ferraris [2] dans son mémoire sur les vecteurs tournants, qu'un vecteur alternarif de direction fixe peut être considéré comme la résultante de deux vecteurs constants, d'amplitude égale à la moitié de l'amplitude maxima du vecteur alternatif et tournant en sens contraire avec une vitesse telle que chacun d'eux fasse un tour complet pendant une période de la grandeur alternative; de plus l'angle que les vecteurs tournants font entre eux à l'origine du temps est égal au double de la phase.

Un vecteur tournant alternatif peut donc être considéré comme la résultante de deux vecteurs constants, égaux, tournant l'un vers la droite l'autre vers la gauche, et animés de plus, d'un autre mouvement de rotation commun, vers la droite ou vers la gauche suivant le sens de rotation du vecteur tournant alternatif. L'un des vecteurs étant ainsi animé

(1) On rapprochera cette définition du vecteur tournant alternatif de la représentation de la sinusoïde en coordonnées polaires. L'extrémité du vecteur en question représente en effet la sinusoïde (N. du T.)

(1) *Lumière Electrique*, 1892.

(2) *Atti della Real. Acad. delle scienze di Turino.* Série II, tome XLIV, décembre 1893.

de deux vitesses égales et contraires restera fixe, tandis que l'autre tournera avec une vitesse double du vecteur tournant-alternatif et dans le même sens que celui-ci.

3. — Soit OA (fig. 1) le vecteur fixe en grandeur et position; OB une position du vecteur mobile autour du point O avec la fréquence *n*. La grandeur du vecteur résultant *oc* sera déterminée en fonction du temps par la relation

$$oc = 2 \, OA \cos n \pi t$$

si l'origine du temps est prise au moment où les deux vecteurs sont superposés; ou plus généralement par

$$oc = 2 \, OA \cos (n \pi t + \alpha)$$

si 2α est l'angle formé par les deux vecteurs

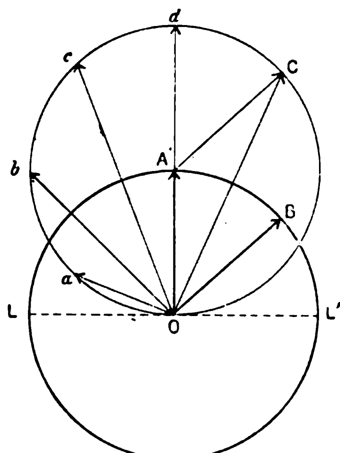


Fig. 1.

constants à l'origine du temps. Tandis que le vecteur OB décrit le cercle de rayon OA, le vecteur résultant s'obtient en menant du point A un segment égal et parallèle à OB. On reconnaîtra facilement que le lien du point C est la circonférence ayant pour centre le point A et pour rayon AO.

On voit donc, que pendant que le vecteur OB décrit un cercle entier, le vecteur résultant prend toutes les positions possibles au-dessus de la ligne LL' de ses zéros, c'est-à-dire fait simplement un demi-tour.

Le même phénomène se produit à chaque rotation successive de OB, c'est-à-dire, que OB partant de la position OD correspondant au zéro du vecteur résultant, et tournant vers la droite et décrivant un cercle complet, le vecteur résultant se meut également dans le même sens, mais une vitesse égale à la moitié et prend toutes les fonctions et grandeurs O*a*, O*b*, O*c*, O*d*, O*e*.

Les champs magnétiques réprésentés définis par un vecteur tournant-alternatif sont susceptibles d'applications variées dont nous ne retiendrons pour le moment que la suivante qui paraît être la plus importante :

Considérons (fig. 2) un anneau de fer doux recouvert d'un enroulement uniforme, analogue à celui d'un anneau Gramme avec deux prises de courant diamétralement opposées.

Supposons maintenant qu'un champ magnétique alternatif tourne autour de cet anneau, vers la droite par exemple, et tel que les lignes des zéros coïncident avec AB.

Un pôle magnétique nord, par exemple,

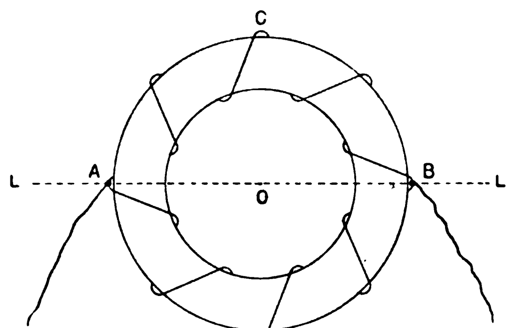


Fig. 2.

prendra naissance dans la partie supérieure de l'anneau et tournera vers la droite; son intensité, nulle en A, augmentera jusqu'en C pour diminuer ensuite jusqu'à zéro en B.

Les spires de l'enroulement qui se trouve en C sont le siège d'une force électromotrice constamment de même sens et d'intensité maxima durant toute la période du champ magnétique, tandis que celles qui se trouvent à droite ou à gauche de *c* sont le siège de forces électromotrices d'autant plus faibles qu'on se rapproche de A et de B mais s'ajustant toutes entre elles de sorte que le déplacement du pôle et sa pulsation donnent naissance à un courant de direction fixe tendant à produire,

d'après la loi de Lenz, en A une polarité opposée à celle développée dans le champ tournant alternatif et en B la même polarité.

Dans la partie inférieure de l'anneau les phénomènes se reproduisent avec cette différence que le courant produit y a une direction opposée.

Les spires des deux moitiés de l'anneau sont ainsi le siège de forces électromotrices opposées et l'on aura entre A et B une différence de potentiel constante.

Il résulte facilement de ce qui précède qu'on peut construire une dynamo à courant continu, ayant deux champs magnétiques égaux l'un fixe, l'autre tournant, avec une excitation séparée ou encore auto-excitatrice, sans l'emploi d'un collecteur Pacinotti mais seulement avec deux contacts glissants entre lesquelles passe le courant d'excitation du champ tournant.

Il est en outre possible d'appliquer les résultats précédents à la construction d'un transformateur qui, animé par un courant alternatif ordinaire, fournirait un courant continu sans aucune partie tournante.

Le champ tournant alternatif tournant autour du point O peut en effet être formé par un champ tournant ordinaire, le champ tournant fixe étant fourni par le courant de l'appareil lui-même, en utilisant le magnétisme rémanent pour l'excitation initiale.

RICCARDO MALAGOLI.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ELECTRICITÉ (1)

Dans les perforatices à percussion, il faut, pour les commander par une dynamo, réduire considérablement la vitesse de cette dynamo sur sa transmission au percuteur, afin d'éviter l'emploi d'une dynamo à marche lente, c'est-à-dire, lourde, encombrante et souvent d'un faible rendement. En outre, cette transmission doit être à l'abri des chocs du percuteur, condition presque impossible à réaliser convenablement, même par l'emploi d'intermédiaires élastiques. Ces considérations, ont conduit la maison *Siemens et Halske* à commander le mécanisme, de la dynamo M, (fig. 1) par un arbre flexible W, dont la vitesse est facilement réduite par une train de pignons droits R_1R_2. L'arbre W attaque l'arbre K de la perforatrice par un accouplement V, facile à défaire et par un jeu de pignons R_3R_4, dont l'un, R_3, a son palier porté par une boîte G, pivotée autour du manchon fixe T, et fixable par une vis D de manière à permettre d'orienter V dans une position telle que le câble W l'aborde toujours sous un angle assez obtus. Enfin, le pignon R_4 porte un volant S, fixé par des fiches *dd* et un écrou *s* qui permettent de l'en détacher facilement. L'avance-

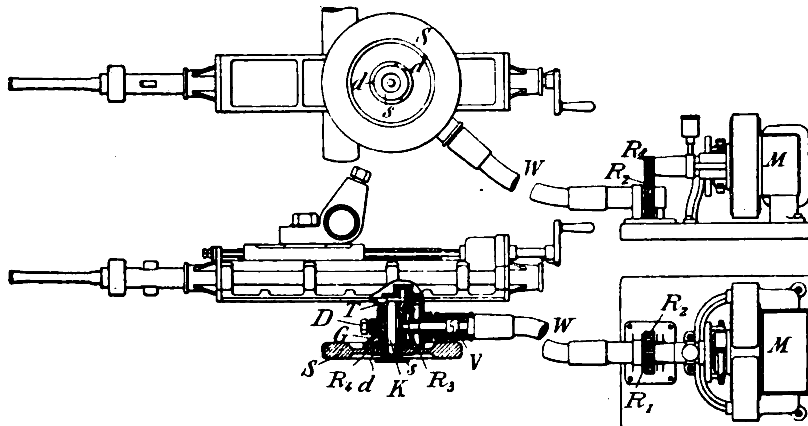


Fig. 1 et 2. — Perforatrice à percussion *Siemens et Halske* (1893) à commander par transmission flexible.

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 8 décembre 1894.

ment du percuteur s'opère à la main ou par un mécanisme automatique quelconque.

Dans le type réprésenté par les figures 3 à 5 le châssis A de la perforatrice est porté par une glissière B, pivotée en C sur le support C_1, et porte les guides A_1 du chariot percuteur L, disposés de manière à rapprocher le plus possible l'axe du fleuret P de celui du support C.

de L est transmis au fleuret P, guidé en E_1 et E_2, par le piston P_1 *g* P_2, pris entre les deux ressorts F_1 et F_2 de L.

Pour le perçage des trous profonds le fleuret B est, fig. 6 et 7, fixé à sa tige tubulaire P par une cale φ à redans *h* l'empêchant de glisser, et par un manchon *r*, que l'on chasse sur le coin *k* après avoir amené B_1, au contact de φ

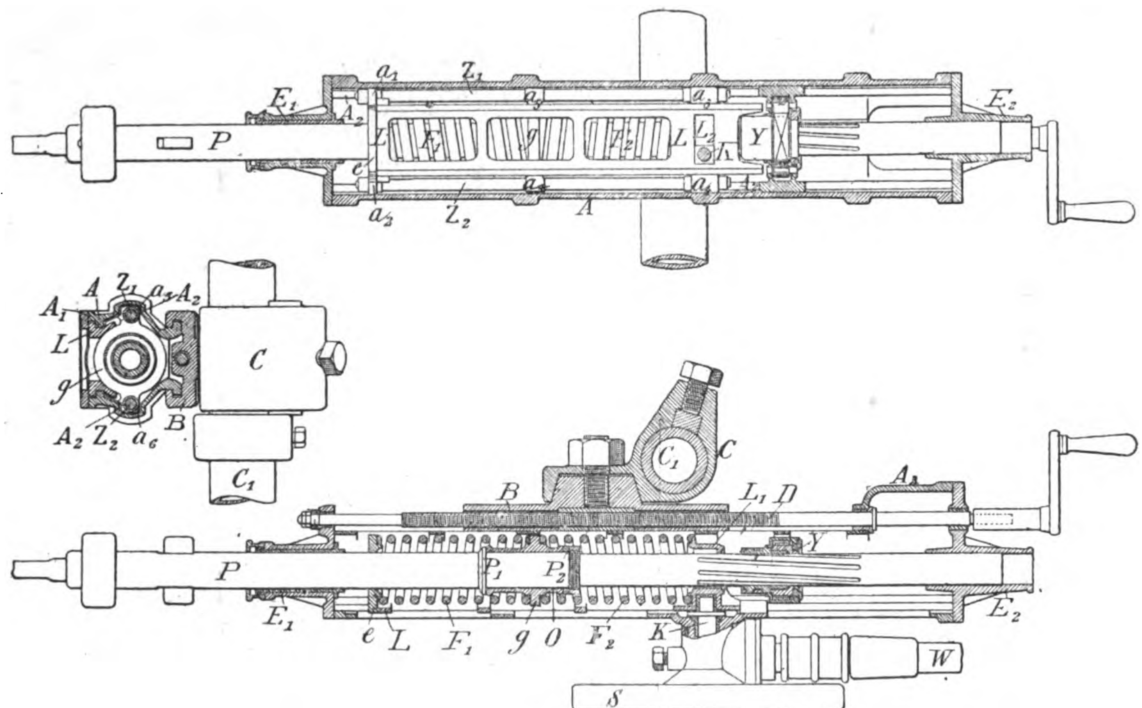


Fig 3 à 5. — Perforatrice *Siemens et Halske* (1894) à transmission flexible et à ressort de percussion.

La manivelle de l'arbre moteur K attaque le chariot L en L_2 L_1, et la plaque d'avant *e* est reliée à E_1 par deux boulons 2_1 2_2, à glissières

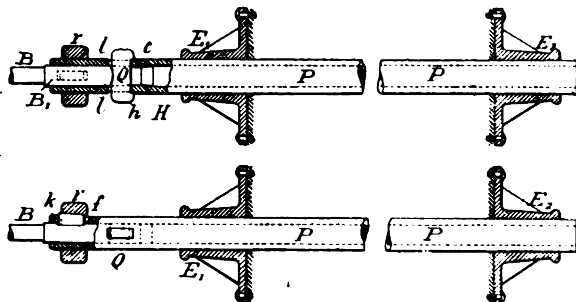


Fig. 6 et 7. — Perforations à percussion *Siemens et Halske*. Guidage pour trous profonds (1894).

$a_2 a_3 a_4 a_5 a_6$, guidées en A_2 A_2, et serrant *e* et E_1 sur L. Enfin, le mouvement de va et vient

Les chocs du fleuret tendent à serrer la bague *r*, facile d'ailleurs à desserrer pour remplacer B par un fleuret plus long, à mesure que le travail s'avance; et comme, grâce à l'emploi d'une tige tubulaire P, ce remplacement peut se faire par l'arrière, au travers de cette tige, on n'a pas à reculer la perforatrice d'au moins la longueur du fleuret, comme avec les systèmes où ce remplacement se fait par devant.

Les perforatrices *rotatives* de la même maison Siemens et Halske, fig. 8, ont la rotation de leur fleuret S commandée d'une dynamo par un arbre flexible et les pignons R_1R_2, dont le manchon de l'un, R_2, est rainuré sur S; et l'avance du fleuret est menée, de l'écrou M par le train différentiel $R_3 R_4 R_5 R_6$ dont R_3 est calé sur la vis

W de S, R_6 est solidaire de M, R_4 est calé sur a, et R_5, fou sur a, est pressé sur R_4 par un ressort F, réglable en f, de manière que l'avance, s'arrête ou se ralentit automatiquement, sans aucun danger de rupture quand le foret rencontre une partie trop dure.

étoile J' au fleuret R au moyen d'écrous K_4K, à ressorts aa. A chaque coup de fleuret, la prise de ses hélices sur les cliquets de l'une des armatures D_2 le fait (fig. 12) tourner d'un pas. Au retour, le lancé du fleuret est amorti par un ressort z.

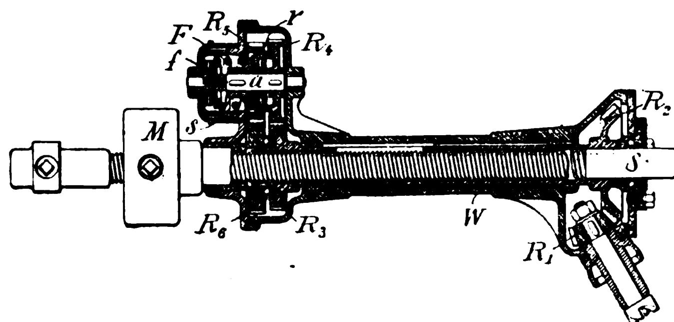


Fig. 8. — Perforation rotative *Siemens et Halske* à butées sur billes (1893).

La perforatrice *Thomson Houston* représentée par les figures 9 à 15 appartient à la classe déjà si nombreuse des perforatrices électriques à action directe. Les bobines C et C', enroulées

La dynamo M envoie (fig. 15) par *bb* des courants continus en C et C', et par *rr* des courants alternativement opposés en T.

Le marteau F du percuteur *Mac-Key*, ac-

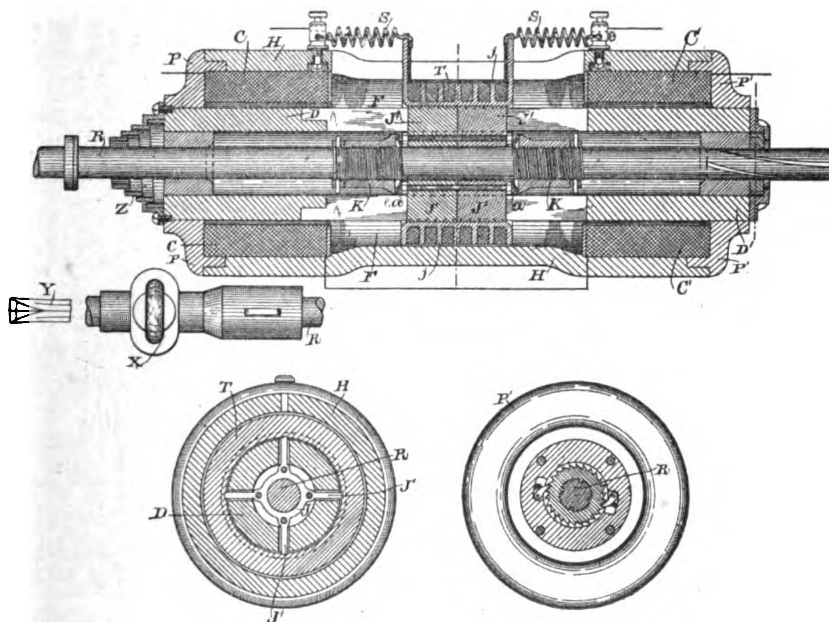


Fig. 9 à 12. — Perforatrice *Thomson Houston* (1894), à action directe.

entre les moyeux D et D' à fonds P et P' et l'enveloppe également en fer doux H, fendu comme D en LL, (figure 14) induisent en FF des champs magnétiques intenses et en opposition de chaque côté de la bobine en fer T, à enroulements solidement cloisonnés J, fixée par un

tionné (fig. 16) par les deux solénoïdes opposés D et C, frappe la tête M du fleuret φ qui s'avance malgré la résistance du dash-pot à air I, réglée par la soupape l, et celle du solénoïde de rappel H, qui, au retour de F, ramène M en arrière d'une longueur limitée par la butée *a*.

Il importe un peu partout, mais essentiellement dans les mines grisouteuses d'éviter tout danger d'incendie ou d'explosion par l'étincelle accompagnant la rupture d'un câble. A cet effet, la maison *Felten et Guillaume*

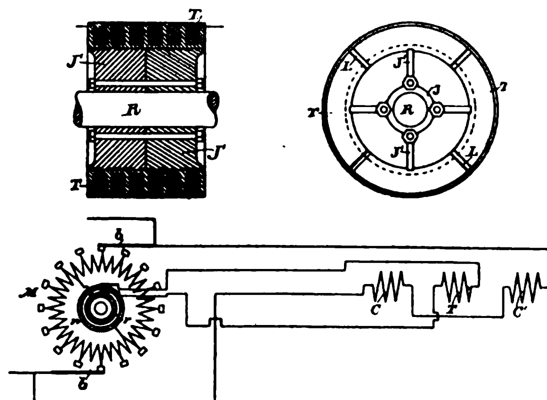


Fig. 13 à 15. — Perforatrice *Thomson Houston*. Détail d'une bobine et shéma des circuits.

double le câble principale en cuivre *a* (fig. 17 à isolant *d* et protecteur *e*, d'un petit câble d'acier *c*, plus cassant, moins extensible que *a*,

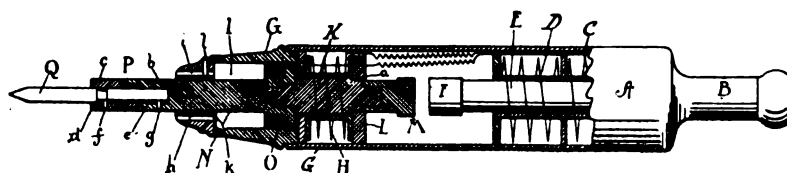


Fig. 16. — Percuteur *Mac Key* (1894).

dont il est séparé par un isolant *b*. En cas d'un effort assez violent pour tendre dangereusement le câble *c*, se rompt avant *a*, dont il coupe le courant, de sorte que *a* peut se briser ensuite sans danger. Lorsqu'on redoute la rup-

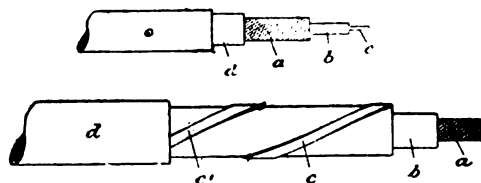


Fig. 17 et 18. — Câbles de sûreté *Felten et Guillaume* (1893).

ture par écrasement, on donne au câble de sûreté, la forme de deux rubans d'acier $c\ c_1$, (fig. 18) enroulés en spirale assez allongée sur l'isolant de *a*.

On a indiqué en fig. 19 à 21 différents types d'application de ces câbles.

En fig. 19, la câble unique de sûreté S a son circuit alimenté par une pile B à électro A qui, dès la rupture de S, lâche son armature A_1 et coupe ainsi le circuit de la dynamo D au câble principal H.

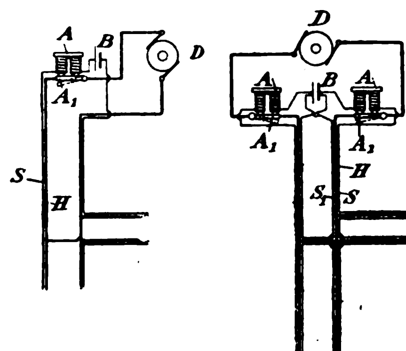


Fig. 19 et 20. — Application des câbles de sûreté *Felten et Guillaume* à des circuits simples et doubles

En fig. 20 la pile B est reliée aux deux câbles de sûreté S et S_1, correspondant aux câbles *c* et c_1 des fig. 17 et 18 par deux élec-

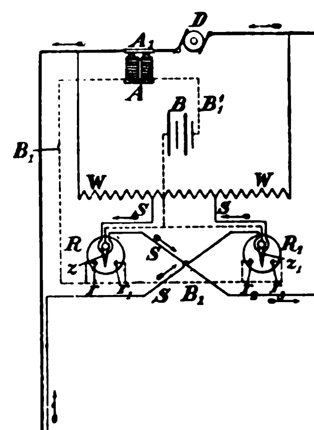


Fig. 21. — Application des câbles de sûreté *Felten et Guillaume* à un circuit devant résister à la fois à la traction et à l'écrasement.

tros fonctionnant comme celui de la figure 19.

Enfin, en fig. 21 on a supposé l'emploi d'un

câble exposé à la fois à l'écrasement et à des efforts de traction. Dans ce cas, le circuit du fil de sûreté unique S est alimenté par un courant dérivé du circuit principal H, au travers des résistances W W et des relais R R_1, mais en sens contraire du courant de H, comme l'indiquent les flèches. Normalement, les relais maintiennent leurs aiguilles z et z_1, dans la position indiquée, correspondant à la rupture du circuit de la pile. En cas de rupture de S par tension de H, les relais ferment en r_1 et r_2 le circuit de la pile B, qui, attirant son armature A coupe le circuit principal H. Dans le cas, au contraire, d'un écrasement du câble assez fort pour amener S au contact de H, il passera en S un courant assez intense pour amener les aiguilles du relais en r_1 et r_2, ce qui, fermant de

30 en face d'une courte 20 (fig. 25) de manière à laisser la pulpe pour ainsi dire filtrer entre eux, et ils sont, en outre, constamment lavés

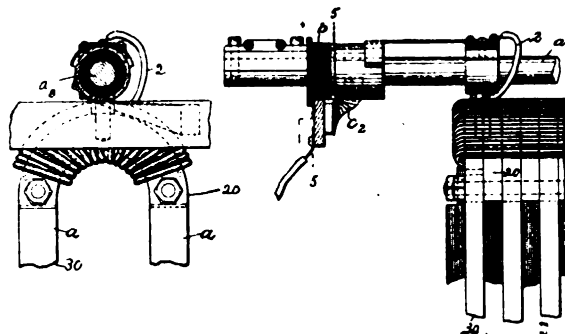


Fig. 24 et 25 — Trieur *Carmickael.* Détail des électro-aimants et de leur suspension.

par des jets d'eau qui en précipitent les limailles dans le baquet e_2.

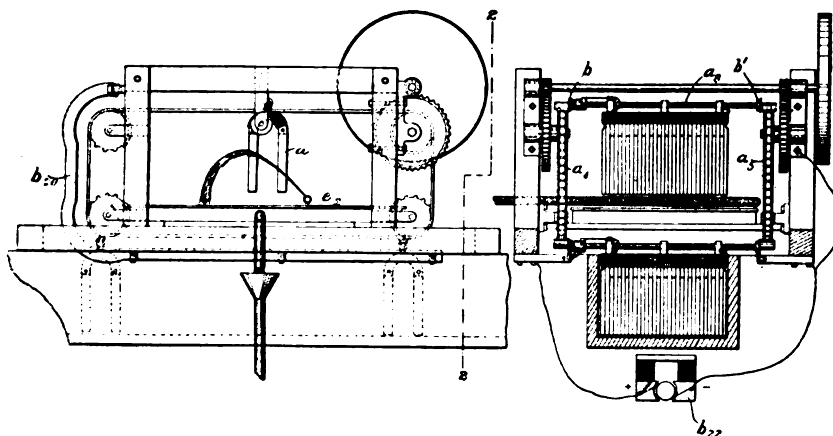


Fig. 22 et 23. — Electro-magnétique *Carmickael* (1894). Elévation et coupe 2-2.

nouveau le circuit de B, coupera comme précédemment celui de H.

Le trieur électromagnétique de *Carmichael* représenté par les fig. 22 à 25 est spécialement destiné à recueillir les parcelles de fer disséminées dans les liquides visqueux, pulpes, etc. Les électro-aimants *a* sont (fig. 24) articulés à des bains a_v portées par des galets les uns isolés *b* les autres métalliques *b'*, sur des voies à guides qui leur permettent de circuler indéfiniment sous l'action de deux chaînes sans fin a_4 a_5, tout en empruntant à ces rails, par les fils flexibles 2 et les balais c_2 le courant d'une dynamo b_{22}. Ces aimants sont alternés de chaque côté des barres a_v : une branche longue

Le remontoir électrique de MM. *Vidal* et *Hervieu* représenté par les figures 26 et 28 fonctionne comme il suit :

A chaque excitation du solénoïde A, par l'horloge maîtresse, l'armature *b c* abaisse le balancier *d e*, pivoté sur *j*, dont le cliquet *f*, maintenu en prise par le ressort *n* avec le rochet *g*, calé sur *j*, fait tourner d'une dent ce rochet, et remonter ainsi le barillet *i* de la quantité même dont il vient de se dérouler. Le contre-cliquet *o* empêche *g* de se dérouler, quand, après le lacher de A, le balancier *d* est ramené à sa position primitive par le ressort *l* et le bras *m*.

Le commutateur, qui rétablit puis coupe le

circuit de A toutes les minutes, se compose d'un second rochet *p*, du même nombre de dents

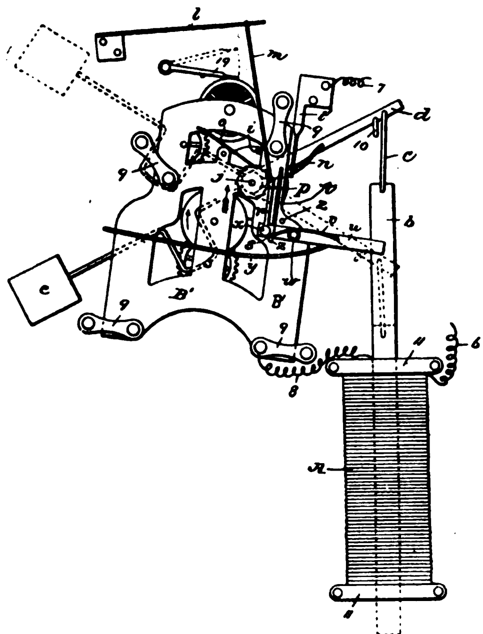


Fig. 26 et 27. — Remise à l'heure *Vidal et Hervieu* (1894).

que *g*, mais calé sur *i* de manière que ses dents alternent avec les creux de *g*, et en-

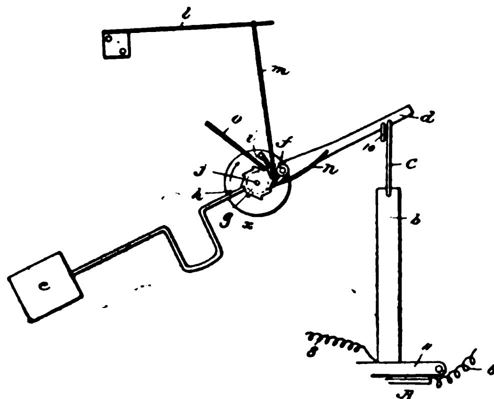


Fig. 26 et 27. — Remise à l'heure *Vidal et Hervieu*. Schéma du balancier.

clanché par un cliquet *r* à contact *t* pivoté en *a* sur le bras *u*, articulé en *w* sur le châssis B'. Un ressort *v* maintient *r* en prise avec *p*, et *y* maintient *u* horizontal.

Deux taquets *z z* limitent les déplacements de *u*. Dès que *r* a tourné d'une dent suivant la flèche, il repousse z_1 et amène *t* sur t', de manière à fermer le circuit de A, qui abaisse *d*, et, en même temps *u*, par 10, de façon à déclancher *r* de *p* et à rompre la contact *t* t'. Il en résulte que *d*, ramené à sa position primitive par *l m* est prêt à faire, comme précédemment, tourner *g* d'une dent.

Gustave RICHARD.

POUVOIR ECLAIRANT

DES PROJECTEURS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE III.

Influence des dimensions du réflecteur, de sa distance focale et de l'intensité du courant sur le pouvoir éclairant du réflecteur.

Nous allons déterminer la signification de chacun des éléments qui ont une influence sur la nature et sur les dimensions du faisceau lumineux, en utilisant les méthodes et les hypothèses dont nous nous sommes déjà servi dans la première partie.

Nous ne nous occuperons point ici de l'intensité absolue de l'éclairage par le projecteur à différentes distances, et nous nous bornerons à faire une étude comparative des projecteurs, en ne faisant varier à la fois, dans de larges mesures, qu'un seul élément, tous les autres étant supposés identiques.

Notre but sera de trouver la grandeur de cet élément à laquelle correspond le maximum d'intensité lumineuse ou d'action utile du projecteur.

Dans le chapitre précédent, nous avons montré qu'il est impossible, pratiquement parlant, d'augmenter considérablement le pouvoir éclairant des projecteurs en augmentant l'intensité du courant et les dimensions du projecteur, puisque les nombres obtenus sont

(¹) *L'Éclairage électrique* du 1er décembre 1894.

tellement grands qu'il devient impossible de croire à la possibilité de réaliser des appareils aussi volumineux et aussi chers. C'est pourquoi nous avons porté notre attention sur un autre côté de la question : nous avons pris pour point de départ la condition que l'intensité du courant ne devait point dépasser certaines limites de maximum pratique (déterminées par cette condition que le projecteur puisse être facilement transporté à n'importe quelle distance) et nous avons tâché d'obtenir une combinaison des autres éléments du projecteur — angle d'ouverture, distance focale et diamètre d'ouverture—telle que l'action utile du faisceau lumineux fût la plus grande possible.

Notre problème se décompose ainsi en plusieurs parties :

I. — Etant donnée l'intensité du courant, égale à 100 ampères — valeur maxima — calculer les caractéristiques du projecteur lorsqu'on augmente la distance focale à partir de sa valeur pratique minima de 300 mm. (¹) jusqu'à une certaine valeur maxima, déterminée par les limites du faisceau.

II. — Calculer l'angle d'ouverture le plus avantageux correspondant à la distance focale minima de 300 mm.

III. — Déterminer les dimensions d'un projecteur théorique en partant de la condition que l'écart du faisceau lumineux et, par conséquent, la surface éclairée ne soit pas audessous d'une certaine limite pratique et, dans le cas actuel au-dessous de 1 degré et demi.

IV. — Déterminer la distance focale la plus avantageuse, le diamètre du projecteur ne dépassant pas un mètre.

Comme dans la pratique on pourra rencontrer d'autres problèmes et d'autres conditions en dehors de nos quatre cas, nous avons dressé une série de tableaux et de graphiques, à l'aide desquels on pourra, sans longs calculs, sans interpolations et sans extrapolations (numériques ou graphiques), résoudre facilement et rapidement n'importe quel problème. Nos calculs sont basés sur les mesures photométriques de l'arc voltaïque citées par MM. Sautter Lemonier et C° (²); ce qui nous importe, ce ne sont pas tant les valeurs numériques, que le caractère général de la distribution de l'intensité lumineuse sous différents angles.

Rappelons les notations dont nous nous sommes déjà servis dans la première partie et que nous supposons connues :

P_0 — (P_{10}, P_{20}.., P_{60}..) : les surfaces, en mètres carrés, des différentes zones sphériques engendrées en faisant tourner des arcs de parabole de (5° à 15°), (15° à 25°)... (55° à 65°) autour de l'axe de la parabole.

A_0 — (A_{10}, A_{20}... A_{60}..) : les intensités de la lumière, en carcels, de la cavité du charbon de l'arc voltaïque sous des angles de 10°, 20°... 60°...

p_0 (p_1, p_2... p_{10}) = D*tg* 10', D*tg*' 20... – les rayons des cercles de l'écran limités par les circonférences correspondant aux rayons lumineux faisant avec l'axe des angles de 10', 20'...; D étant la distance entre le projecteur et l'écran.

M_0 (M_1, M_2... M_{10}) : la quantité de lumière qui tombe de la zone sphérique donnée à l'intérieur du cercle de l'écran de rayon p_1, p_2... p_{10}.

r — le rayon de la cavité du charbon en millimètres ; lorsque le nombre d'ampères est 100, *r* est ordinairement égal à 8 mm.

F — la distance focale en millimètres.

H — l'angle d'ouverture du projecteur.

D — l'ordonnée double du point extrême de la parabole qui engendre le projecteur ; nous appellerons D, le diamètre de l'ouverture du projecteur.

Les trois courbes de la figure 1 représentent les quantités P, A et leur produit PA.

La courbe de PA, comme le montre la figure, monte rapidement jusqu'à 40°, lentement jusqu'à 60°, et descend ensuite presque uniformé-

(¹) Lorsque l'intensité du courant est égale à 100 ampères, il est impossible d'approcher sans danger la cavité du charbon à une distance inférieure à 300 mm.

(²) Que nous avons contrôlées sur les lampes horizontales.

ment. Bien que le maximum de l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque se trouve entre 40° et 45° le maximum du produit PA se trouve vers 60°, ce qui indique l'importances des parties extrêmes du projecteur en comparaison avec les parties centrales.

Le tableau I des grandeurs M, établi pour des distances focales différentes (ou plutôt pour les différentes valeurs de $\frac{F}{2r}$, puisque

TABLEAU I

Des grandeurs M pour les zones de

$\frac{F}{2r}$ =	(5°—15°)	(15°—25°)	(25°—35°)	(35°—45°)	(45°—55°)	(55°—65°)	(65°—75°)	(75°—85°)
20	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0139	0153	0179	0226	0312	0479	0880	2265
M_2 =	0558	0612	0718	09 6	1249	1917	3510	9050
M_3 =	1256	1379	1616	2040	2810	4313		1,000
M_4 =	2234	2451	2874	3627	4995	7700	1,000	
M_5 =	3490	3830	4490	5667	7811	1,000		
M_6 =	5026	5515	6466	8170	1 000			
M_7 =	6842	7508	8800	1,000				
M_8 =	8937	9880	1,000					
M_9 =	1,000	1,000						
25	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0218	0239	0280	0354	0487	0748	1374	3538
M_2 =	0872	0957	1123	1417	1951	2995	5195	1,000
M_3 =	1963	2154	2526	3187	4390	6768	1,000	
M_4 =	3490	3830	4490	5667	7811	1,000		
M_5 =	5454	5984	7016	8847	1,000			
M_6 =	7854	8618	1,000					
M_7 =	1,000							
30	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0314	0345	0404	0510	0702	1075	1980	5080
M_2 =	1256	1380	1619	2039	2820	4315	7908	1,000
M_3 =	2830	3110	3610	4580	6320	9760	1,000	
M_4 =	5030	5510	6470	8160	1,000			
M_5 =	7855	8610	1,000					
M_6 =	1,000							
35	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0427	0169	0550	0695	0957	1470	2690	6930
M_2 =	1710	1877	2205	2780	3830	5880	1,000	
M_3 =	3850	4220	4960	6250	8630	1,000		
M_4 =	6850	7510	8810	1,000				
M_5 =	1,000							
38	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0505	0554	650	0·21	1130	1735	3185	8150
M_2 =	2020	2215	2605	3280	4525	6015	1,000	
M_3 =	4540	4985	5860	7400	1,000			
M_4 =	8100	8870	1,000					
M_5 =	1,000							
50	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	
M_1	0872	0957	1123	1417	1951	2995	5195	1,000
M_2	3490	3825	4490	5666	7811	1,000		
M_3	7853	8616	1,000					
M_4 =	1,000							

APPENDICE AU TABLEAU I

$\frac{F}{2r}$ =	(5°—15°)	(15°—25°)	(25°—35°)	(35°—45°)	(45° 55°)	(55°—65°)
16,66	0.	0.	0,	0.	0,	0,
M_1 =	0096	0106	0124	0157	0216	0331
M_2 =	03 7	0·25	0498	0629	0867	0'33
M_3 =	0872	0957	1122	1417	1951	2995
M_4 =	1551	1702	1996	2518	3169	..304
M_5 =	2424	2660	3118	3936	5420	7130
M_6 =	3490	3830	4491	5667	7461	8550
M_7 =	4751	5214	6113	7709	8858	9594
M_8 =	62 6	6810	7985	9543	9792	1,000
M_9 =	7856	8620	9600	9976	1,000	
M_{10} =	9700	1 000				
12,5	0,	0,	0,	0,	0,	0,
M_1 =	0054	0059	0070	0083	0121	0187
M_2 =	0218	0239	0280	0354	0187	0748
M_3 =	0490	0538	0631	0796	1097	1685
M_4 =	·872	0957	1193	1417	1951	2995
M_5 =	1363	1496	1754	2214	3049	4680
M_6 =	1963	2154	2526	3188	4391	6282
M_7 =	2673	2933	3438	4339	5977	7586
M_8 =	3191	3831	4491	5668	7461	8551
M_9 =	4419	·849	5685	7175	8555	9378
M_{10} =	5456	5987	7019	8550	9390	9954
M_{11} =	6603	7245	8494	9454	9937	1,000
M_{12} =	7858	8623	9583	9976	1,000	
M_{13} =	9224	98 3	1,000			
M_{14} =	1,000					

une pareille généralisation du problème permet de se servir de nos tableaux. même pour des intensités du courant supérieures ou inférieures à 100 ampères, depuis $\frac{F}{2r} = 20$ jusqu'à $\frac{F}{2r} = 50$), prouve, jusqu'à un certain point et d'une manière évidente, les avantages des projecteurs à grande distance focale sur ceux à petite distance : la partie centrale du cercle éclairé reçoit de toutes les zones, d'autant plus de lumière que $\frac{F}{2r}$ est plus grand ; en outre la lumière envoyée par le projecteur se distribue sur l'écran sur une surface d'autant plus grande que $\frac{F}{2r}$ est plus petit, et par conséquent en général, l'éclairage de l'écran est plus faible lorsque la distance focale est plus petite. Il faut rappeler ici que lorsque nous disons « distances focales grandes ou petites » nous avons en vue leur rapport au diamètre de la cavité du charbon, c'est-à-dire à l'intensité du courant.

Au contraire, comme nous le verrons plus loin, par rapport au diamètre du réflecteur, les distances focales relativement courtes sont jusqu'à un certain point plus avantageuses.

Le tableau n'a été poussé que jusqu'à $\frac{F}{2r} = 50$, puisque déjà avec cette valeur les difficultés de construction de ces appareils

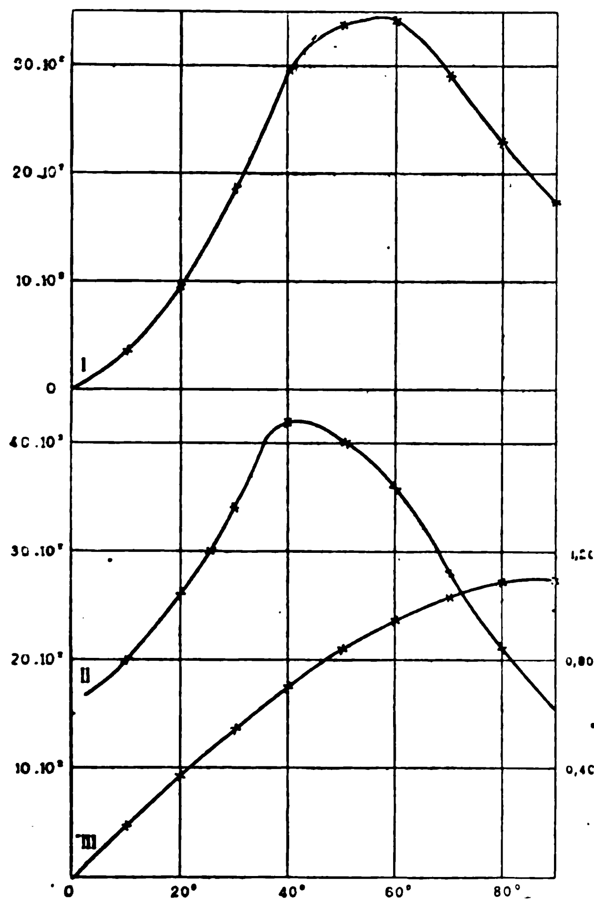


Fig. 1.

I. Courbe de la quantité PA.
II. — — A.
III. — — P.

énormes sont considérables dans la pratique. Nous acceptons pour maximum la valeur de $\frac{F}{2r} = 38$, puisque le faisceau obtenu a alors une divergence de 1 1/2° et les cercles éclairés sont encore suffisamment grands ; un rétrécissement plus fort du faisceau ne présente dans la pratique aucun avantage, les surfaces éclairées devenant trop petites.

TABLEAU II

des valeurs de P A M, pour les projecteurs dont

$\frac{F}{2r}$ =	20	25	30	35	38
$P_{10} A_{10} M_1$ =	5,3	8,3	12,0	16,3	19,2
$P_{20} A_{20} M_1$ =	14,9	23,3	33,6	45,6	53,9
$P_{30} A_{30} M_1$ =	33,4	52,1	75,3	102,2	121,0
$P_{40} A_{40} M_1$ =	67,0	104,5	150,5	205,0	242,5
$P_{50} A_{50} M_1$ =	105,2	164,4	237,0	323,0	381,0
$P_{60} A_{60} M_1$ =	163,5	255,8	367,0	502,0	592
$P_{70} A_{70} M_1$ =	254,0	396,0	571,0	777	917
$P_{80} A_{80} M_1$ =	515,0	801,0	1144	1571	1845
$P_{10} A_{20} M_2$ =	21,3	33,2	47,8	65,1	77
$P_{20} A_{20} M_2$ =	59,6	93,2	134,1	182,5	215
$P_{30} A_{30} M_2$ =	133,5	209,0	301,8	411,0	484
$P_{40} A_{40} M_2$ =	268,0	418,0	601,5	821,0	970
$P_{50} A_{50} M_2$ =	421,0	658	951,0	1290	1520
$P_{60} A_{60} M_2$ =	655,0	1022	1475	2010	2365
$P_{70} A_{70} M_2$ =	1010	1580	2250	2885*	2885*
$P_{80} A_{80} M_2$ =	2018	2270*	2270*	2270*	2270*
$P_{10} A_{10} M_3$ =	47,8	74,8	107,8	146,5	173
$P_{20} A_{20} M_3$ =	134,0	209.5	302.5	411,0	485
$P_{30} A_{30} M_3$ =	300,0	470.0	677,0	925	1090
$P_{40} A_{40} M_3$ =	602,5	941,0	1351	1845	2185
$P_{50} A_{50} M_3$ =	948,0	1480	2135	2910	3373*
$P_{60} A_{60} M_3$ =	1470	2300	3335	3414*	3414*
$P_{70} A_{70} M_3$ =	2278	2880	2885*	2885*	2885*
$P_{80} A_{80} M_3$ =	2270*	2270	2270*	2270*	2270*
$P_{10} A_{10} M_4$ =	85,0	132,0	1[illegible]1,5	261	308
$P_{20} A_{20} M_4$ =	238,0	372,5	536,0	730	863
$P_{30} A_{30} M_4$ =	535,0	837,[illegible]	1205	164[illegible]	1861*
$P_{40} A_{40} M_4$ =	1070,0	1675	2410	2956*	2956*
$P_{50} A_{50} M_4$ =	1681,0	2630	3373*	3373*	3373*
$P_{60} A_{60} M_4$ =	2625 0	3414*	3414*	3414*	3414*
$P_{70} A_{70} M_4$ =	2885*	2885*	2885*	2885*	2885*
$P_{80} A_{80} M_4$ =	2270*	2270*	2270*	2270*	2270*

	20	25
$P_{10} A_{10} M_5$ =	132.8	208,0
$P_{20} A_{20} M_5$ =	372	58[illegible],0
$P_{30} A_{30} M_5$ =	836	1340
$P_{40} A_{40} M_5$ =	1672	2525
$P_{50} A_{50} M_5$ =	2620	3373*
$P_{60} A_{60} M_5$ =	3414*	3414*
$P_{70} A_{70} M_5$ =	2885*	2885*
$P_{80} A_{80} M_5$ =	2270*	2270*
$P_{10} A_{10} M_6$ =	191,3	299
$P_{20} A_{20} M_6$ =	536,0	839
$P_{30} A_{30} M_6$ =	1103,0	1784
$P_{40} A_{40} M_6$ =	2400	2950
$P_{50} A_{50} M_6$ =	3372*	3373*
$P_{60} A_{60} M_6$ =	3414*	3414*
$P_{70} A_{70} M_6$ =	2885*	2885*
$P_{80} A_{80} M_6$ =	2270*	2270*

	20
$P_{10} A_{10} M_7$ =	260,5
$P_{20} A_{20} M_7$ =	731,0
$P_{30} A_{30} M_7$ =	1640
$P_{40} A_{40} M_7$ =	2956*
$P_{50} A_{50} M_7$ =	3372*
$P_{60} A_{60} M_7$ =	3414*
$P_{70} A_{70} M_7$ =	2885*
$P_{80} A_{80} M_7$ =	2270*
$P_{10} A_{10} M_8$ =	340,5
$P_{20} A_{20} M_8$ =	955,0
$P_{30} A_{30} M_8$ =	1681*
$P_{40} A_{40} M_8$ =	2956*
$P_{50} A_{50} M_8$ =	3372*
$P_{60} A_{60} M_8$ =	3414*
$P_{70} A_{70} M_8$ =	2885*
$P_{80} A_{80} M_8$ =	2270*

Les produits où M > I, c'est-à-dire où le diamètre du cercle est supérieur au grand axe de l'ellipse sont marqués par le signe *

Le tableau des M a été étendu jusqu'aux valeurs de $\frac{F}{2r} = 12{,}5$ pour montrer qu'une

diminution de la distance focale au-dessous du minimum accepté par nous $\left(\frac{F}{2r} = 20\right)$ amène une augmentation rapide de l'angle de divergence du faisceau, tandis que le rôle des parties centrales du projecteur dans l'éclairage des parties centrales de l'écran diminue.

L'importance de l'augmentation de l'ouverture sur l'intensité de l'éclairage de l'écran ressort clairement du tableau II des grandeurs PAM pour les différentes valeurs de $\frac{F}{2r}$. En comparant les nombres de la même ligne horizontale, nous constatons que, lorsque la distance focale augmente 1 1/2 fois, les valeurs correspondantes de PAM augmentent environ 2,25 fois, c'est-à-dire proportionnellement au carré de 1 1/2.

En comparant les nombres des colonnes verticales de M_1 et M_2, nous voyons que les extrémités du projecteur réfléchissent la plus grande quantité de lumière sur la partie centrale de l'écran et qu'il est, par suite, important d'augmenter l'angle d'ouverture, jusqu'à 75° ou 85°, lorsqu'on veut, pour une raison quelconque, augmenter l'intensité de la partie centrale du faisceau (même au détriment de l'uniformité de l'éclairage).

Ce tableau est important, puisqu'il simplifie beaucoup la solution des problèmes sur les projecteurs dont les distances focales diffèrent des valeurs que nous avons considérées ; nul besoin de calculer les valeurs de M ; si l'intensité du courant est de 100 ampères, il suffit d'interpoler au moyen des données du tableau ou de dresser un graphique avec ces données. Si l'intensté du courant diffère de 100 ampères, il faudra encore multiplier par un certain coefficient les résultats obtenus au moyen des interpolations. Comme dans le calcul de l'intensité de l'éclairage des anneaux de l'écran on a affaire aux quantités :

$$\Sigma \, PAM_n - \Sigma \, PAM_{n-1},$$

les grandeurs PAM qui entrent dans les deux sommes, par exemple, celle qui sont notées p le signe *, n'ont, et ne doivent ainsi avoir aucune influence sur le résultat, contrairement à ce qu'on pourrait croire au premier abord.

Avec ces tableaux des projecteurs à différentes distances focales, les caractéristiques ont été calculés et graphiquement représentées; trois calculs ont été faits pour chaque projecteur : 1) l'angle d'ouverture = 65° ; 2) l'angle d'ouverture = 75° 3) l'angle d'ouverture = 85°.

Toutes les caractéristiques ont été dessinées à la même échelle. Sur la figure 2 se trouvent tracées les caractéristiques de 5 projecteurs

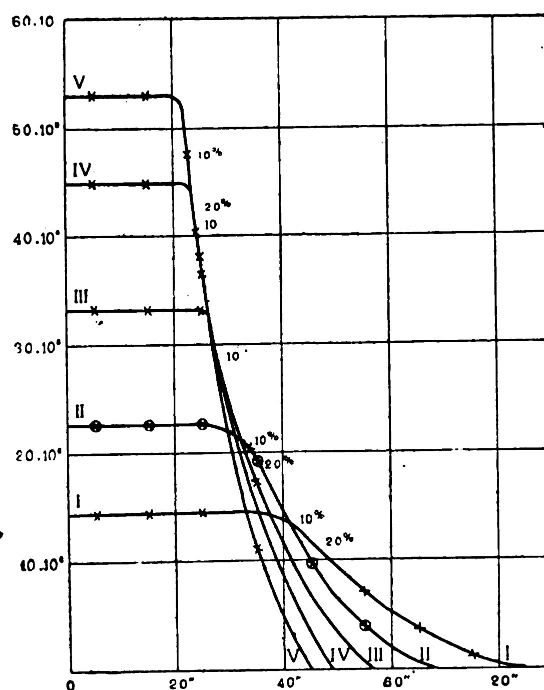


Fig. 2. — $\frac{F}{2r}$ = I 20; II 25; III 30; IV 35; V 38.

(100 ampères, angle d'ouverture 65°) qui diffèrent par leur distance focale. Nous constatons que l'intensité de l'éclairage de l'écran augmente très rapidement avec l'augmentation de la distance focale, en mêms temps que croît aussi l'uniformité de l'intensité d'éclairage de la partie centrale du faisceau ; de l'autre côté, à mesure que l'angle d'ouverture augmente, la partie nuisible du faisceau augmente aussi et la surface éclairée par sa partie utile diminue. Le produit de la valeur

numérique de cette surface par l'intensité de l'éclairage de chacun de ses éléments (ce produit peut être représenté géométriquement par le volume d'un cylindre de révolution autour de l'axe, la génératrice étant une parallèle à l'axe qui limite la partie utile du faisceau, le volume étant limité par le projecteur) caractérise les qualités du projecteur, mais pour apprécier l'influence de chaque facteur sur le fonctionnement du projecteur il faut tenir compte des autres circonstances telles que la grandeur de la partie visible du faisceau, la plus ou moins grande intensité de l'éclairage. C'est pourquoi nous avons adopté une formule qui contient tous ces éléments : nous calculons les volumes

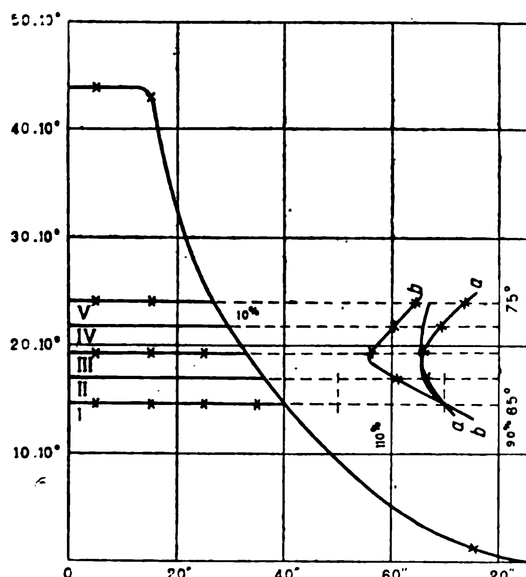


Fig. 3. — $\frac{F}{2r} = 20$

L'angle d'ouverture le plus avantageux sera déterminé d'après la formule

$a \ \frac{\text{Volume} \times \text{Eclat}}{\text{Partie nuisible } b \text{ o/o}}$

ou b Volume² × Eclat

ci-dessus mentionnés pour les ouvertures de 65°, 67,5°, 70°, 72,5°, 75°..., jusqu'à 85° et nous les exprimons en rappports centésimaux, en admettant que la valeur de celui qui correspond à l'angle de 65° est égael à 100.

Nous adoptons aussi comme égale à 100 l'ordonnée maxima de la courbe qui correspond au même angle d'ouverture et nous calculons les rapports centésimaux des ordonnées maxima des autres courbes à celle-ci. Ensuite, nous exprimons le rapport centésimal de la partie nuisible du faisceau au faisceau tout entier. Le projecteur sera donc plus productif, que le volume et l'ordonnée maxima seront plus grands et que la partie nuisible du faisceau sera plus petite. Cette relation est exprimée par notre formule :

$$(a) \qquad \frac{\text{volume} \times \text{ordonnée}}{\text{partie nuisible en o/o}}$$

Nous avons supposé, dans la première partie,

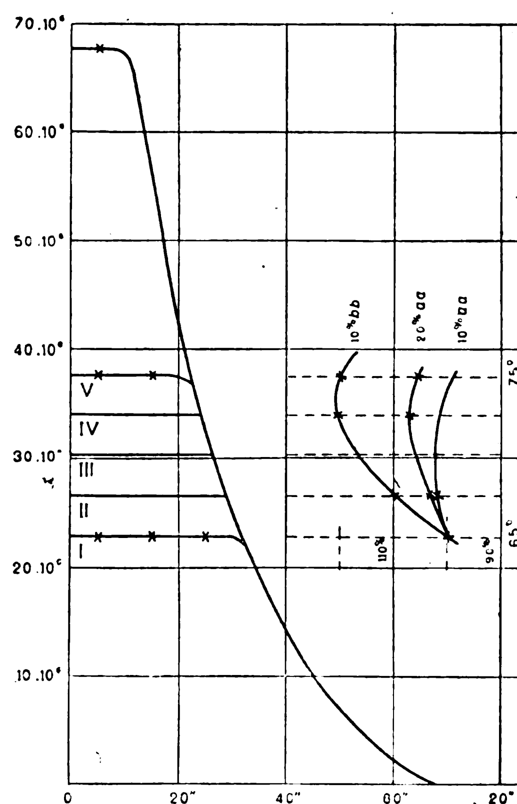


Fig. 4. — (Détermination de l'angle d'ouverture le plus avantageux avec $\frac{F}{2r} = 25$.

Formule $a \ \frac{\text{Volumes} \times \text{Eclat}}{\text{Partie nuisible}}$

Formule b, Volumes² × Eclat.

que la portion utile du faisceau est limitée par la portion centrale, dans laquelle l'intensité de l'éclairage n'est pas inférieure de plus de 10 o/o à l'intensité de la partie la plus éclairante.

Mais, comme cette limite, pendant les beaux temps, peut s'accroître, nous avons calculé les volumes pour les mêmes données, en regardant comme utiles aussi les parties du faisceau où l'intensité est inférieure de 20 o/o à l'intensité maxima. Nous avons regardé comme partie nuisible la portion du faisceau dont l'intensité est au-dessous de la 1/5 (20 o/o) de celle des parties centrales.

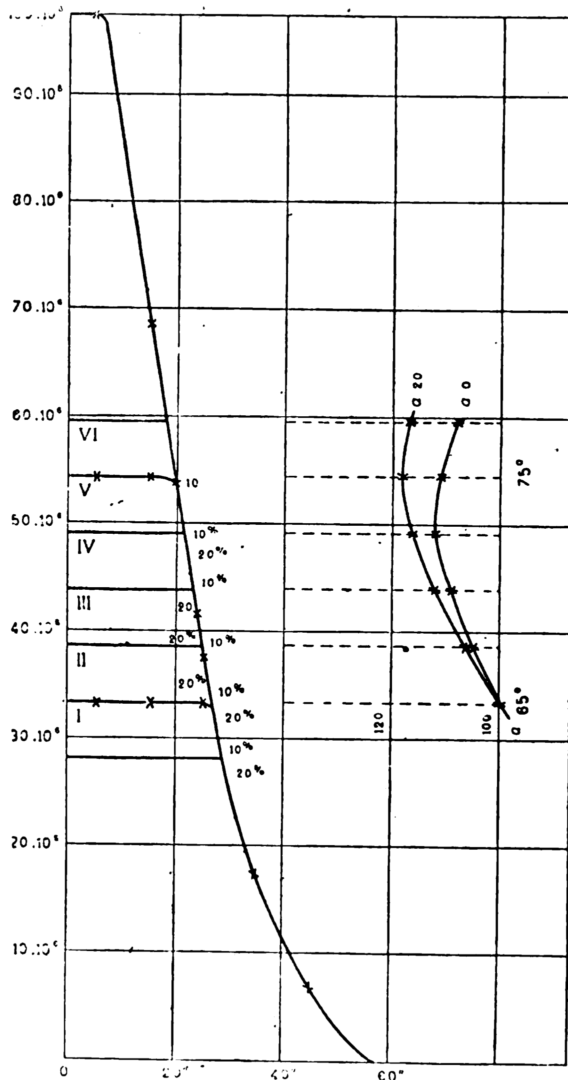


Fig. 5. — $\frac{F}{2r} = 30$

Les résultats obtenus en comparant les projecteurs qui ne diffèrent entre eux que par l'angle d'ouverture sont graphiquement représentés sur les figures 2 à 7.

Comme le montre la figure 3, qui représente la caractéristique d'un projecteur où $\frac{F}{2r} = 20$,

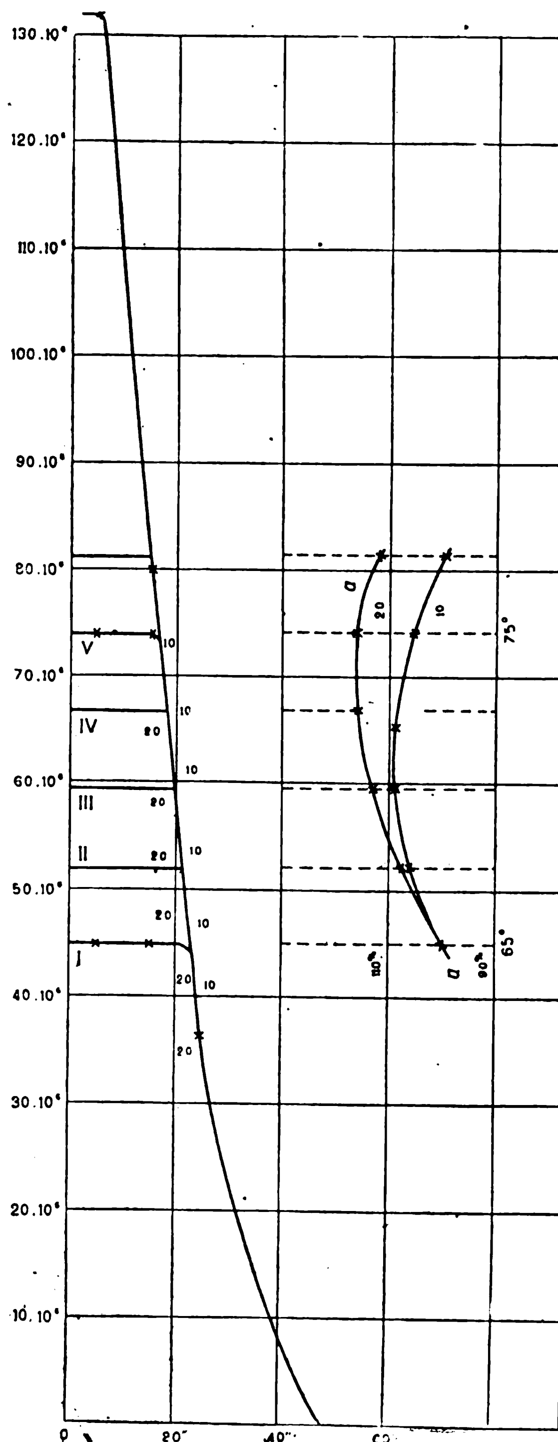


Fig. 6. — $\frac{F}{2r} = 35$

le résultat le plus avantageux s'obtient, (d'après la formule citée) lorsque l'ouverture est environ égale à 69° ou 70° Une plus grande augmentation de l'ouverture amène une augmentation des ordonnées, c'est-à-dire une augmentation de l'intensité de l'éclairage des parties centrales

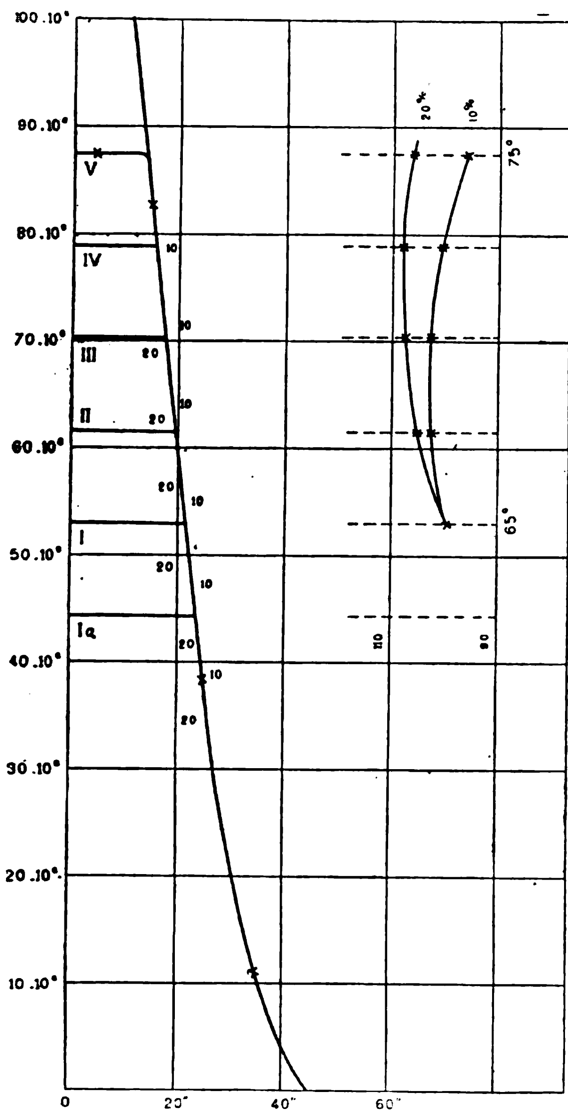


Fig. 7. — $\frac{F}{2r} = 38$.

du faisceau, mais aussi une diminution encore plus rapide de la surface éclairée et des volumes et une augmentation préjudiciable de la partie nuisible.

Si l'on tient compte encore de ce que l'augmentation de l'ouverture entraîne une majoration du prix du projecteur, il deviendra évident qu'il n'est ni avantageux, ni même possible d'augmenter l'ouverture au-dessus de la limite indiquée de 69° à 70°.

Les dimensions du projecteur sont déterminées au moyen de l'équation de la parabole, si l'on connaît les distances focales et l'angle d'ouverture :

$$\operatorname{tg} H = \frac{y}{q/2 - x} \qquad x = \frac{y^2}{2q}.$$

où x et y sont l'abscisse et l'ordonnée du point extrême de la parabole.

En résolvant l'équation du second degré

$$y^2 + y\,\frac{2q}{\operatorname{tg} H} - q^2 = 0$$

nous obtenons, en posant H=70° et F=320 mm.

$$\frac{F}{2r} = 20\,; \qquad 2r = 16^{mm}$$

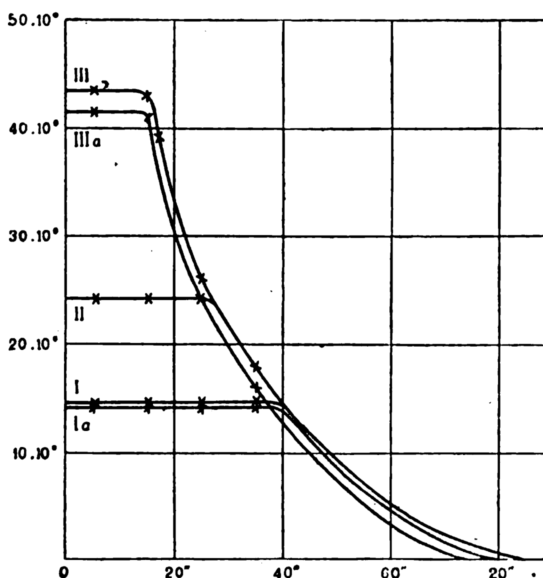


Fig. 8. — $\frac{F}{2r} = 20$

I. Projecteur de campagne jusqu'à 65°.
I *a*. Projecteur sans la partie moyenne de 25°
III. Projecteur de campagne jusqu'à 85°
III *a*. Projecteur sans la partie moyenne de 35°
II Projecteur de campagne jusqu'à 75°

$y = 448$, c'est-à-dire le diamètre de l'ouverture du projecteur égal à 896 mm. ou 900 mm.

En examinant les courbes correspondant aux projecteurs où $\frac{F}{2r} = 25$, 30, 35 et 38, nous

constatons que, malgré une si notable différence des distances focales, le caractère de la courbe reste presque identiquement le même : si l'on prend pour partie utile du faisceau la portion où la diminution de l'intensité lumineuse ne descend pas au-dessous de 10 o/o par rapport à l'intensité maxima, on constatera que, dans toutes les cinq courbes, le maximum d'action utile des projecteurs correspond à l'angle de 69° à 70° (de légères déviations par rapport à cette loi générale s'expliquent par l'inexactitude de la méthode graphique).

Si l'on admet l'utilité des portions du faisceau où l'intensité est de 20 o/o inférieure à l'intensité maxima de la partie centrale, la plus grande productivité du projecteur s'obtient pour l'ouverture supérieure à 70°, notamment pour 72°,5 et même 75° ; d'ailleurs la formule *a* donne une si faible différence en faveur des angles supérieurs à 72°, qu'il n'y a aucune utilité à construire des projecteurs avec une ouverture qui dépasse 70° ou au plus 72°,5. Nous donnons, tableau III, les volumes et les ordonnées calculés en rapports centésimaux des volumes et ordonnées correspondant, pour chaque valeur de $\frac{F}{2r}$ à l'angle de 65°.

Nous remarquons d'après ces tableaux que l'augmentation de l'angle d'ouverture est accompagnée d'une augmentation de la partie nuisible du faisceau, ce qui a une influence essentielle sur l'efficacité du projecteur. Nous donnons les solutions de l'équation du 2e degré pour les ouvertures de 68°, 70° et 72°,5. Le diamètre du projecteur sera égal en millimètres à :

	67°5	70°	72,5°
$\frac{F}{2r} = 20$	854mm	896mm	925mm
$\frac{F}{2r} = 25$	1068mm	1120mm	1172mm
$\frac{F}{2r} = 30$	1282mm	1344mm	1405mm
$\frac{F}{2r} = 35$	1495mm	1560mm	1638mm
$\frac{F}{2r} = 38$	1621mm	1703mm	1784mm

On obtient des dimensions assez grandes des

TABLEAU III

des valeurs relatives des volumes, des ordonnées et des parties nuisibles pour les différentes ouvertures.

	65°	67,5°	70°	72,5°	75°	77,5°
$\frac{F}{2r} = 20$						
Volumes 10 0/0..	100	97,1	93,0	85,8	80,8	
Ordonnées.....	100	116	132	148	162	
Parties nuisibles.	20,9	22,8	24,7	26,4	28,3	
I Résultats de la formule *a* avec 10 0/0..............	100	103,2	104	100,8	96,6	
Volumes 20 0/0..	100	97,9	93,3	89,1	86,3	
II Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	101,1	104,1	104,1	103,1	
$\frac{F}{2r} = 25$						
Volumes 10 0/0..	100	98,9	93,5	90,1	85,0	
Ordonnées......	100	116,5	133	150	166,1	
Parties nuisibles.	20,3	22,9	24,7	26,9	29,0	
I Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	102,0	102,2	101,5	99,0	
Volumes 20 0/0..	100	99,9	97,1	95,1	91,1	
II Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	103	106	107,5	106	
$\frac{F}{2r} = 30$						
Volumes 10 0/0..	100	100,6	100,8	100,1	95,8	91,4
Ordonnées......	100	115,5	131,4	147,0	163	179
Parties nuisibles.	20,3	22,7	24,8	26,8	28,6	30,6
I Résultats de la formule *a* avec 10 0/0..............	100	104,2	108,5	111,7	110,5	108,1
Volumes 20 0/0..	100	102,9	104	101,7	102	93,4
II Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	106,2	112,0	115,8	118,0	116,6
$\frac{F}{2r} = 35$						
Volumes 10 0/0..	100	102,4	103	98,6	95,0	86,8
Ordonnées......	100	116	132	147,7	164,6	181,2
Parties nuisibles.	18,3	20,5	22,7	24,7	27,1	29,5
I Résultats de la formule *a* avec 10 0/0..............	100	106	109	108,1	105,2	97,5
Volumes 20 0/0..	100	105	106,2	105,6	104,4	97,4
II Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	107,5	113,1	116	116	109,5
$\frac{F}{2r} = 38$						
Volumes 10 0/0..	100	97,6	94,0	88,5	81,3	
Ordonnées......	100	116	132	148	164,5	
Parties nuisibles.	21,5	23,7	26,0	28,1	30,1	
I Résultats de la formule *a* avec 10 0/0..............	100	102,8	103	100,5	95,6	
Volumes 20 0/0..	100	99,8	98,1	95,3	90,5	
II Résultats de la formule *a* avec 20 0/0..............	100	105,4	107,8	108,2	106,2	

projecteurs et il est très probable que, par des considérations pratiques, on sera obligé de se borner aux angles d'ouverture plus petits, surtout lorsque les distances focales sont grandes, puisque, pour $\frac{F}{2r} = 38$, on obtient déjà, pour l'angle de 65°, un diamètre de 1 m. 55, c'est-à-dirre de 0 m. 05 plus fort que celui du projecteur Schuckert qui figura à l'Exposition de Chicago. Ou bien on sera obligé de diminuer la distance focale au détriment de la distribution de la lumière dans le faisceau.

Les tableaux des valeurs de M nous montrent que les parties centrales des projecteurs n'ont pas une grande influence sur l'intensité d'éclairage des parties centrales de l'écran. D'où résulte naturellement cette question : ne serait-il pas plus avantageux de supprimer cette partie du projecteur, puisqu'elle contribue à la diffusion du faisceau et augmente par cela même le brouillard qui environne le faisceau lumineux.

Pour nous rendre compte du rôle de la présence ou de l'absence de ces parties centrales, nous avons calculé les caractéristiques, en supposant supprimée la partie centrale correspondant à 25° (c'est-à-dire à l'angle du cône de 50°) dans deux de nos projecteurs à distances focales maxima et minima c'est-à-dire pour

$$\frac{F}{2r} = 20 \quad \text{et} \quad \frac{F}{2r} = 38$$

Les caractéristiques dès projecteurs pleins ou ayant la forme d'anneaux sont données dans les figures 8 et 9 ; en outre, nous avons calculé la caractéristique pour le projecteur de $\frac{F}{2r} = 20$ en supposant enlevée la partie centrale de 35° (70° au sommet du cône). Comme il est facile de le constater sur les figures 8 et 9, les caractéristiques de ces projecteurs à anneaux sont presque identiques à celles des projecteurs pleins ; les volumes et les ordonnées sont seulement un peu plus petits. La formule *a* donne aussi des résultats presqu'identiques, de sorte qu'on n'obtient qu'un faisceau plus étroit et une plus petite intensité de sa partie centrale, avec une partie nuisible plus restreinte. On peu dire, en général, que la partie moyenne du projecteur est sans importance : sa présence comme son absence n'améliore en rien, mais ne diminue non plus la valeur du projecteur.

Résolvons la question posée au début de l'article : déterminer la distance focale la plus avantageuse et l'angle d'ouverture pour un projecteur de 100 ampères, dont le diamètre est égal à 1 mètre : déterminer quelles sont pratiquement les limites les plus commodes de ces appareils d'éclairage électrique.

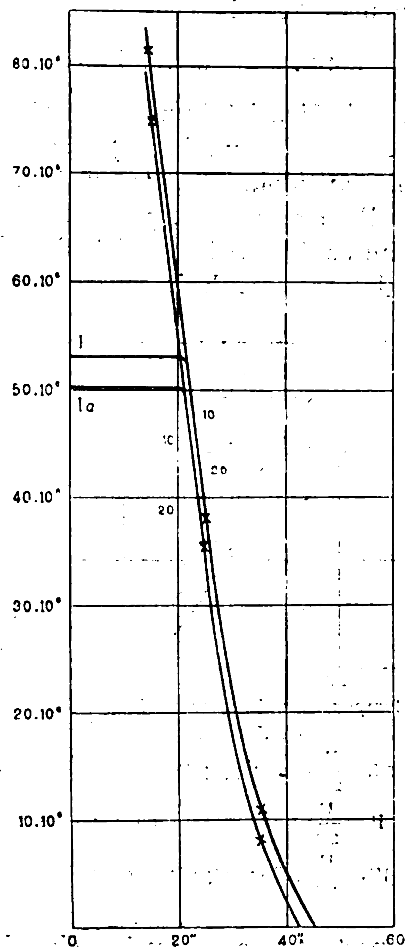


Fig. 9. — $\frac{F}{2r} = 38$.

I .... Projecteur total jusqu'à 65°

I *a*.... Projecteur sans la partie moyenne de 25°

Nous avons tracé, figure 10, à la même échelle, les caractéristiques de trois projecteurs

(qui satisfont aux conditions énoncées) aux distances focales de : 1°—320 mm., 2°400 mm., et 3°—480 mm. Nous ne résolvons pas exactement ce problème, et nous n'indiquons que les caractéristiques comparatives des projecteurs aux différentes distances focales.

Comme on le voit sur la figure et comme cela résulte du tableau, le plus avantageux de ces projecteurs est celui dont la distance focale est de $\frac{F}{2r} = 30$; une augmentation de ce rapport diminue l'efficacité du projecteur (comme l'a prouvé un calcul approximatif) et la distance focale la plus avantageuse se trouve entre 400 et 480 mm. Pour résoudre le problème exactement, il faut se donner l'intensité d'éclairage désirée ou la grandeur de la surface éclairée

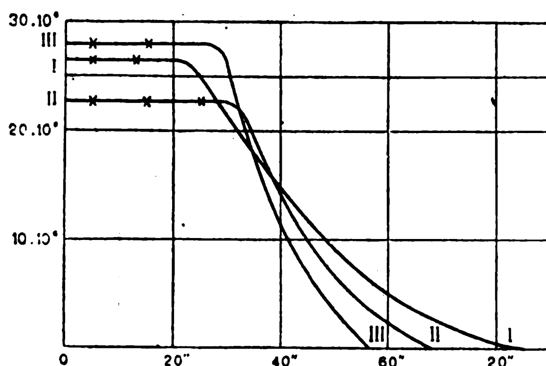


Fig. 10. — Comparaison de deux projecteurs de diamètre de 1m environ.

Projecteur I. $\frac{F}{2r} = 20$; 77°; D = 1018 ; F = 320

— II. $\frac{F}{2r} = 25$; 65°; D = 1018 ; F = 400

— III. $\frac{F}{2r} = 30$; 65°5 ; D = 1018 ; F = 480

voulue et, partant de ces données, chereher le rapport $\frac{F}{2r}$. La différence entre les projecteurs $\frac{F}{2r} = 20$ et $\frac{F}{2r} = 25$ est beaucoup plus grande que celle qui existe entre ce dernier et celui dont $\frac{F}{2r} = 30$, ce qui résulte de la comparaison des valeurs du volume utile et des parties nuisibles du faisceau. Si l'on veut obtenir une plus grande intensité dans l'éclairage de la partie centrale, il faut prendre une distance focale plus près de 480 mm, mais si l'on désire éclairer une plus grande surface, il faut que cette distance se rapproche de 400 mm.

La figure 11 permet de juger s'il est avantageux de prendre une grande distance focale lorsque l'ouverture est relativement grande (c'est-à dire lorsque le projecteur a un fort diamètre) ; on y trouve les caractéristiques de deux projecteurs : A — caractéristique du projecteur à 100 ampères, F = 608 mm ;

$\frac{F}{2r} = 38$; D = 1550mm ; H = 65°.

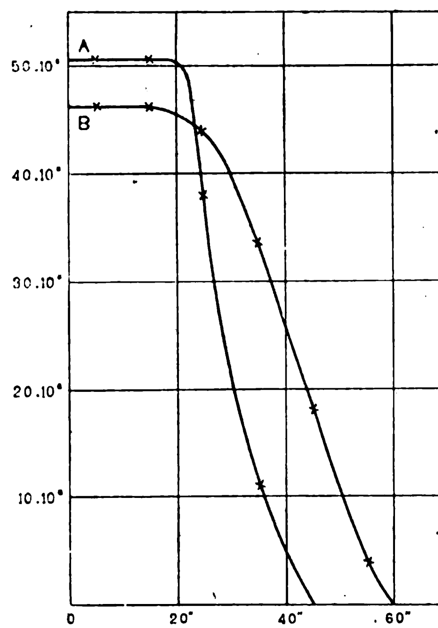


Fig. 11. — A. Projecteur de 100 ampères et $\frac{F}{2r} = 38$ (65°

F = 608mm ; D = 1550mm

B. Projecteur de 160 ampères et $\frac{F}{2r} = 28,8$ (60°)

F = 650mm ; D = 1500mm

et B—caractéristique du projecteur à 150 ampères, F = 650 mm

$\frac{F}{2r} = 28,8$; D = 1500mm ; H = 60°.

La seconde caractéristique correspond au projecteur Schuckert (le plus grand de ceux qui sont construits jusqu'à ce jour) qui figura aux Expositions de Francfort-sur-le-Mein, en 1891 et de Chicago en 1893. La comparaison de deux courbes prouve que, pour le projecteur

A, l'intensité de l'éclairage de la partie centrale du faiscean est supérieure de 8,5 o/o. Le faisceau tout entier est plus grand chez le projecteur B, mais sa partie utile ne forme que 48 o/o, tandis que celle de A forme 51,5 o/o. Les parties nuisibles sont 21,5 o/o pour A et 15 o/o pour B. On peut dire évidemment que, si l'on diminue la distance focale du projecteur Schuckert de 1,5 m. de diamètre, en partant de sa valeur de 650 pour le réduire à 600 mm., on pourra diminuer l'intensité du courant d'un tiers (de 150 ampères à 100 ampères) et obtenir la même action utile du projecteur.

La différence si grande dans les valeurs des parties nuisibles des projecteurs comparés s'explique parce que les courbes sont de nature différente et que, par conséquent, la comparaison basée sur la formule ne peut pas donner de résultats satisfaisants, puisque la valeur de la partie nuisible qui se trouve au dénominateur, a une trop grande influence sur le résultat. En général, la formule n'est applicable qu'à la comparaison des courbes se rapportant au même projecteur. Néanmoins, on constate, en comparant les courbes, que la partie éclairée utile est de 30,5 o/o plus grande avec le projecteur B qu'avec celui de A, sans parler de la supériorité de l'intensité de la lumière de la partie centrale de son faisceau. Si l'on tient compte de la difficulté de transport des dynamos supérieures à 100 ampères, les avantages résultant de l'augmentation de l'intensité du courant apparaîtront comme très faibles, puisque, par une combinaison habile de l'angle d'ouverture le plus avantageux avec la distance focale correspondante, on peut atteindre les mêmes résultats. En augmentant l'angle d'ouverture jusqu'à 70°, dans le projecteur A, nous augmentons l'efficacité du projecteur de 7,8 o/o la partie utile de la lumière étant de 20 o/o inférieure au maximum. Comme nous l'avons déjà démontré dans le chapitre I', avec nos moyens techniques actuels, il n'y a aucune possibilité, au moins au point de vue pratique, d'augmenter beaucoup l'intensité du courant et le diamètre des projecteurs transportables ; le prix de pareils appareils serait hors de toute proportion. En général, il n'est pas avantageux, au point de vue pratique, de s'éloigner des projecteurs qui existent actuellement, c'est pourquoi il faut combiner les éléments du projecteur de telle manière qu'on puisse obtenir dans chaque cas donné un faisceau lumineux d'une intensité et d'une section voulues.

Nous croyons qu'avec nos tableaux et nos graphiques il sera facile de résoudre rapidement n'importe quel problème et de déterminer d'avance les qualités du projecteur ainsi que l'influence de chaque élément pris individuellement.

W. Tchikoleff, R. Klasson et W. Turin.

THÉORIE ET CALCUL
DES MOTEURS ASYNCHRONES

A CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT

Ces moteurs encore tout récents se distinguent par une grande simplicité : ils ont sur les moteurs à courants continus, l'avantage de ne pas posséder de pièces frottantes, commutateurs et balais, susceptibles de donner des étincelles, et par ce fait sont appelés à trouver beaucoup d'applications dans les mines grisouteuses. Sur les moteurs à courants alternatifs synchrones ils ont l'avantage de donner un couple puissant au démarrage.

Pour étudier ces moteurs, nous devons d'abord analyser les réactions qui s'y produisent et nous efforcer de leur donner une forme analytique suffisamment simple pour servir de base à une méthode pratique de calcul des éléments qui les constituent. Ensuite ces éléments calculés pour un certain régime de fonctionnement, nous devons pouvoir déterminer leurs valeurs depuis le démarrage jusqu'au synchronisme et tracer ainsi des courbes qui caractérisent les conditions de marche du moteur et qui seront appelées pour cette raison, caractéristiques.

Un moteur asynchrône à champ magnétique tournant se compose essentiellement :

1° D'un circuit inducteur composé de deux ou plusieurs bobines inductrices suivant qu'il est alimenté par courants alternatifs biphasés ou polyphasés et dont le rôle est de produire dans la masse magnétique du moteur un champ tournant de grandeur constante.

2° D'un circuit induit, comprenant un nombre quelconque de bobines fermées sur elles-mêmes et disposées deux par deux à angles droits.

Sous l'influence de la rotation du champ inducteur, des courants naîtront dans l'induit, lequel se mettra à tourner dans le même sens que le flux, mais à une vitesse moindre. En effet, si le flux tournait à la même vitesse que l'induit, leur déplacement relatif, désigné aussi sous le nom de glissement, serait nul : il n'y aurait production d'aucun courant dans

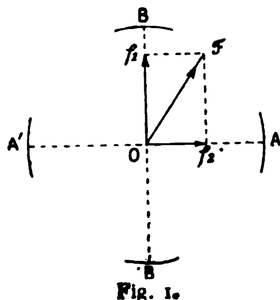


Fig. 1.

l'induit, donc d'aucue force d'entraînement et le moteur ralentirait; il ralentira jusqusqu'à ce que le courant induit soit tel qu'il donne lieu à un couple moteur, capable de vaincre le couple résistant :

Les réactions qui interviennent pour la production de ce couple sont les suivantes :

1° Induction mutuelle du circuit inducteur sur le circuit induit ;

2° Induction mutuelle réciproque du circuit induit sur le circuit inducteur ;

3° Self-induction dans les deux circuits.

Avant de passer à l'étude de ces réactions démontrons d'abord que le flux produit par deux courants alternatifs décalés de 90° tourne en restant de grandeur constante on démontrerait qu'il en est de même si on avait affaire à des courants polyphassés mais pour la simplicité nous nous bornerons au cas de courants biphasés.

Soient AA' et BB' (fig. 1) les projections des bobines inductrices dans lesquelles circulent des courants décalés de 90° représentés à un moment t, pour les expressions

$$i_1 = I \sin \beta t$$
$$i_2 = I \cos \beta t$$

Je prends comme origine du temps le moment où le flux inducteur se trouve dirigé suivant OA et je suppose la rotation se faisant, suivant le cas général, à l'inverse des aiguilles d'une montre.

Ces courants i_1 et i_2 donneront lieu à des flux f_1 et f_2 qui se composeront en un flux résultant F qui sera donné par l'équation

$$F^2 = f_1^2 + f_2^2$$

Mais

$$f_1 = M i_1 \text{ et } f_2 = M i_2$$

M étant étant le cœefficient d'induction mutuelle

donc

$$F^2 = M^2 (i_1^2 + i_2^2) = M^2 I^2$$

Ce flux est donc constant; pour prouver qu'il tourne considérons l'angle F O f_2 dans le triangle F O f_2 on a

$$\text{tg } FOf_2 = \frac{f_1}{f_2} = \text{tg } \beta t.$$

Le flux tourne donc à la vitesse de β tours par seconde. Etudions maintenant la réaction en commençant par la self-induction.

Self-induction

La self-induction a pour effet de produire un décalage du courant sur sa force électromotice et de donner au circuit une résistance plus grande que sa résistance ohmique.

Si dans un circuit dont la résistance ohmique est R on fait agir une force électromotrice qui varie suivant la loi sinuoïdale simple le calcul démontre que l'expression du courant au lieu d'être égal à $i_1 = \frac{E}{R} \sin mt$ ce qui serait

s'il n'y avait pas de self-induction, sera égale à

$$i_1 = \frac{E'}{B} \cos \varphi \sin (mt - \varphi)$$

ou φ est l'angle de décalage déterminé par la condition

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{mL}{R}$$

où $\frac{R}{\cos\varphi}$ est la résistance apparente du circuit et où E est la valeur maxima de la force électromotrice.

On peut représenter la chose d'une façon plus saisissante et plus simple par une construction graphique bien connue. En effet, si nous considérons le même circuit de résistance ohmique R dans lequel circule un courant sinuoïdal les forces électromotrices du circuit seront :

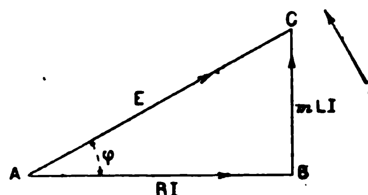


Fig. 2.

1° La résistance absorbée par la résistance R et dont l'amplitude est RI.

2° La force électromotrice de self-induction déterminée par l'expression $L \frac{di}{dt}$ et dont la valeur maximum sera égale à m LI : cette force électromotrice sera la même que celle induite par la rotation du flux dù au courant I lui-même, mais sera en avance sur la force électromotrice RI. Soient (fig. 2) les droites AB et BC représentant en grandeur et direction RI et mLI. AC représentera aussi en grandeur et direction la force électromotrice résultante E.

Dans le triangle ABC on a

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{BC}{AB} = \frac{mL}{R}$$

$$AB = AC \cos \varphi$$

$$RI = E \cos \varphi \quad \text{d'où} \quad \frac{E}{I} = \frac{R}{\cos\varphi}$$

$\frac{E}{I}$ est la résistance apparente.

On a aussi

$$\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$$

$$\text{d'où } E^2 = R^2 I^2 + m^2 L^2 I^2 \quad \text{d'où} \quad \frac{E}{I} = \sqrt{R^2 + m^2 L^2}$$

Ce sont ces mêmes valeurs qui sont obtenus par le calcul.

Induction mutuelle du circuit inducteur sur le circuit induit

Soient A A' et B B' les projections des (fig. 3) bobines inductrices et soient aa' et bb' deux bobines induites à angles droits faisant avec les deux premiers un angle égal à mt; en désignant par m la vitesse relative du flux inducteur par rapport à l'induit, c'est-à-dire la vitesse de glissement du flux inducteur.

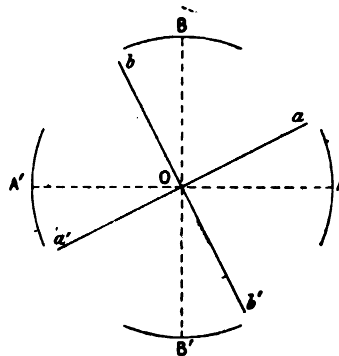


Fig. 3.

Les expressions des courants circulant dans les bobines inductrices seront

$$i_1 = I \sin \beta t$$
$$i_2 = I \cos \beta t$$

I est la valeur maxima du courant inducteur. B étant la vitesse absolue de rotation du flux.

Soient M_1 et M_2 les coefficients d'induction mutuelle d'une bobine telle que aa' par rapport aux deux bobines inductrices AA' et BB' au moment t on aura

$$M_1 = M \cos (\beta - m) t.$$
$$M_2 = - M \sin (\beta - m) t$$

M_2 sera négatif parce que le flux f_2 pénètre dans la bobine aa' par sa face positive tandis que le flux f_1 pénètre par la face négative.

La force électromotrice d'induction mutuelle est donnée par la formule générale.

$$e = - \frac{d (M_1 i_1 + M_2 i_2)}{dt}$$

Or

$$M_1 i_1 + M_2 i_2 = MI (\sin \beta t \cos (\beta - m) t - \cos \beta t \sin (\beta - m) t$$
$$= MI \sin mt.$$

et

$$e = - m MI \cos mt.$$

donc $I = n'F$ et $e = n'm F \cos mt$. Mais $F = \frac{L \pi\, n I}{r}$ où r est la résistance magnétique du moteur et où n est le nombre des spires de chaque bobine induite. Cette équation prouve que l'effet de l'induction mutuelle du circuit inducteur sur le circuit induit sera le même que celui produit par la rotation du flux inducteur F au travers des bobines induites.

Les forces électromotrices agissant dans le circuit induit seront donc :

1° La force électromotrice absorbée par la résistance R et dont l'amplitude est RI;

2° La force électromotrice de self-induction dont l'amplitude est mLI;

3° La force électromotrice d'induction mutuelle dont l'amplitude est mMI.

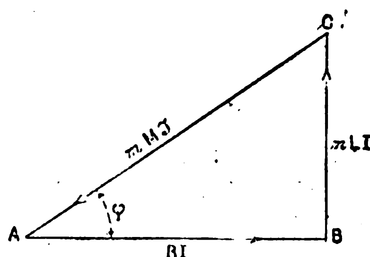


Fig. 4.

Comme il n'y a pas de forces électromotrices préexistantes dans l'induit, ces trois forces forment un polygone fermé représenté par le triangle ABC, où AB = RI (fig 4) BC = mLI et CA = mMI.

Flux induit

Si i_1 et i_2 sont les valeurs instantanées des courants induits circulant dans deux bobines à angle droits aa' et bb' leurs expressions seront trouvées en résolvant l'équation générale du courant

$$e = Ri + L \frac{di}{dt}$$

dans laquelle on remplacera e par les deux expressions $e = -n' m F \cos mt$ et $e = n' m F \sin mt$; la première de ces expressions correspondant à la bobine aa' l'autre à la bobine bb'; après résolution on obtient

$$i_1 = - \frac{n'm F}{R} \cos \varphi \cos (mt - \varphi)$$

$$i_2 = \frac{n'm F}{R} \cos \varphi . \sin (mt - \varphi)$$

Ces deux courants feront naître dans leurs bobines respectives deux flux f_1 et f_2 qui se composeront à leur tour pour donner un flux résultant de grandeur constante et tournant à la même vitesse que le flux inducteur F mais en restant décalé sur ce dernier de $90° + \varphi$.

En effet si F est le flux résultant il sera exprimé par $F^2 = f_1^2 \times f_2^2$

Mais

$$f_1 = M i_1 \quad f_2 = M i_2$$

donc

$$F^2 = M^2 \frac{m^2 F^2 \cos^2 \varphi}{R^2}$$

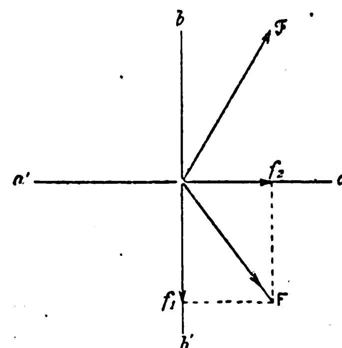


Fig 5.

quantité qui est constante pour une même vitesse de glissement m et qui est égale à $M^2 I^2$ où I représente la valeur maximum du courant induit.

Dans le triangle O F f_1 (fig. 5), on a

$$\operatorname{tg} OF f_1 = \frac{f_2}{f_1} = - \operatorname{tg} (mt - \varphi)$$

L'angle $F O f_2$ étant égal à mt, on voit que l'angle F O F est égal à $90° + \varphi$

Réaction d'induit

Si nous considérons le flux inducteur et induit F et F ce dernier peut être décomposé en deux autres F cos φ et F sin φ ; le premier perpendiculaire au flux F sera par conséquent sans influence sur la production des courants

induits; le second dirigé en sens inverse du flux inducteur F sera un flux antagoniste et diminuera ce flux inducteur d'une quantité F sin φ de telle sorte que le flux inducteur efficace ne sera plus F mais $F - F \sin \varphi$ et les expressions des courants induits deviendront

$$i_1 = -\frac{n'm\,(F - F\sin\varphi)}{R}\cos\varphi\cos(mt - \varphi)$$

$$i_2 = \frac{n'm\,(F - F\sin\varphi)}{R}\cos\varphi\sin(mt - \varphi)$$

Ce phénomène est tout à fait analogue à celui qui se passe dans les dynamos à courant continu par suite du décalage des balais et qu'on appelle *réaction d'induit*. Celle-ci prend dans les moteurs à champ tournant une grande importance : elle est exprimée à chaque instant par la valeur de l'angle de décalage φ : cette quantité sera donc générale à tous les moteurs et ses valeurs pourront servir à caractériser les différents états de marche de ces appareils de quelque dimension qu'ils soient. Dans les machines à courant continu l'angle de décalage ne pourrait que difficilement servir à caractériser la marche du moteur parce que cet angle dépend d'un phénomène compliqué qui est la production des étincelles et qui ne peut être aisément étudié que par l'expérience. Or ce phénomène n'existe pas ici et cela nous permettra de prendre φ comme variable indépendante dans l'étude des courbes caractéristiques.

Nous avons raisonné jusque maintenant en supposant que l'induit ne comprenait que deux bobines à angles droits : il n'en est généralement pas ainsi et l'induit en comprend un nombre plus grand que nous désignerons par p.

Ces paires de bobines donneront lieu chacune comme les bobines aa' et bb' à des flux induits égaux chacun en grandeur et direction au flux F, de sorte que le flux induit total sera égal à pF que nous continuerons cependant à désigner par F.

Cette circonstance modifiera aussi le coefficient de self-induetion de chaque bobine : en effet nous avons vu plus haut que la force électromotrice de self-induction est égale à la force électromotrice produite par la rotation du flux traversant la bobine, et que sa valeur maximum était égale à mLI : dans ce cas au lieu d'un seul flux F qui traverse la bobine nous en avons p, donc la force électromoirice de self-indduction deviendra pmLI : la résistance R de chaque cadre n'est pas changée, donc on voit par le triangle A B C (fig. 7) que l'angle de décalage sera donné par

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{pm\,LI}{RI} = \frac{pmL}{R}$$

au lieu de $\frac{mL}{R}$; c'est-à-dire que l'on peut considérer chaque bobine comme ayant un coefficient de self-inducteur 4 fois plus grand que celui qu'elle aurait si elle était seule.

Reherche du flux inducteur efficace

Pour trouver l'expression du flux inducteur efficace $F - F \sin \varphi$, considérons la valeur maximum du courant induit : elle est égale en valeur absolue à

$$I = \frac{n'm\,(F - F\sin\varphi)}{R}\cos\varphi$$

Nous venons de voir que

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{pmL}{R}$$

Donc

$$I = \frac{n'\,(F - F\sin\varphi)\sin\varphi}{pL}$$

d'où

$$pLI = n'\,(F - F\sin\varphi)\sin\varphi$$

Mais

$$\frac{L\pi\,n'^2 I}{Y} \times p$$

est égal au flux induit F, donc

$$Fn' = n'\,(F - F\sin\varphi)\sin\varphi$$

d'où

$$F\,(1 + \sin^2\varphi) = F\sin\varphi$$

$$F = F\,\frac{\sin\varphi}{1 + \sin^2\varphi}$$

et

$$F_{eff} = F - F\sin\varphi = F\,\frac{1}{1 + \sin^2\varphi}$$

On voit que le flux efficace ira en diminuant jusqu'à devenir égal à $\frac{F}{2}$ pour $\varphi = 90^\circ$.

En portant la valeur de F_{eff} dans les expressions du courant celles-ci deviennent

$$i_1 = -\frac{mF}{R}\,n'\,\frac{1}{1 + \sin^2\varphi}\cos\varphi\cos(mt - \varphi)$$

$$i_2 = \frac{mF}{R}\,n'\,\frac{1}{1 + \sin^2\varphi}\cos\varphi\sin(mt - \varphi)$$

L. LEGRAND.

(*A suivre.*)

EXTRAITS

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

COMMUNICATIONS

La station centrale d'éclairge électrique de Cardiff[1].

La ville de Cardiff, connue pour son commerce d'exportation est située à l'embouchure de la rivière Taff et sur l'estuaire de la Severn. La municipalité a toujours eu à honneur de procurer aux habitants les avantages des perfectionnements modernes, ce qui témoigne d'un esprit d'entreprise assez rare. La population est de 150.000 habitants.

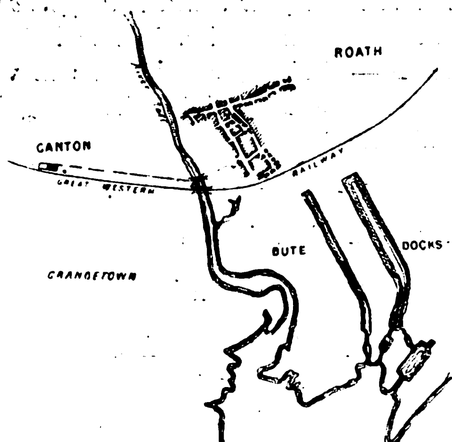


Fig. 1.

Dès 1890, la corporation de Cardiff s'occupa d'établir une station centrale municipale d'éclairge électrique, mais l'organisation définitive est plus récente. M. W.-H. Massey, ingénieur conseil de la ville, accompagné d'un sous-comité comprenant MM. P.-W. Carey et W. Harpur, visita plusieurs stations centrales en Angleterre, en France, en Belgique et en Allemagne. Le 3 juillet 1891, la ville obtint l'autorisation de réaliser le projet en cours. Le comité déjà mentionné, présenta un rapport dont la conclusion était « qu'il n'existait aucun procédé dont on put recommander l'adoption sans y apporter de modification. » L'ingénieur de la ville, M. W. Harpur ajoutait que l'éclairage au gaz coûterait 16 250 francs, tandis que l'éclairage mixte au gaz et à l'électricité des mêmes voies coûterait 23 700 francs.

A la suite de cette première étude, deux autres rapports furent présentés. D'après les conseils de M. Massey, le comité proposa de générer les courants alternatifs à haute tension et de distribuer à baste tension. au moyen de transformateurs en sous centres. Cette décision est justifiée par la disposition des lieux et par l'impossibilité où l'on se trouvait d'acheter à un prix abordable, un local suffisant pour ériger la sation centrale dans le centre de la ville. M. Massey proposa en outre l'emploi de redresseurs de courants pour l'éclairage à arc. C'est la première tentative de ce genre qui ait été

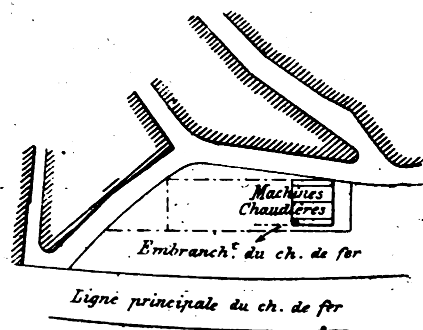


Fig. 2.

proposée en Angleterre; cependant, par suite des délais apportés dans l'exécution des travaux, ce fut à Portsmouth que les redresseurs de courants furent employés pour la première fois en Angleterre.

Un autre point particulier sur lequel il faut attirer l'attention est l'emploi de machines à vapeur verticales, à triple expansion et à condensation, dans lesquelles chaque cylindre est muni d'une valve d'admission séparée.

La station centrale est située à Canton, dans la banlieue sud-ouest de Cardiff (fig. 1); elle longe les voies du Great Western Railway, en sorte que des embranchements directs ont pu être établis pour amener le charbon dans l'usine même, à des prix très économiques (fig. 2).

La maison Siemens et Halske fut chargée de la fourniture du matériel, tant électrique que mécanique.

(1) *The Electrical Engineer*, de Londres, 14 déc. 1894 — *Engineering*. 14 dec. 1894.

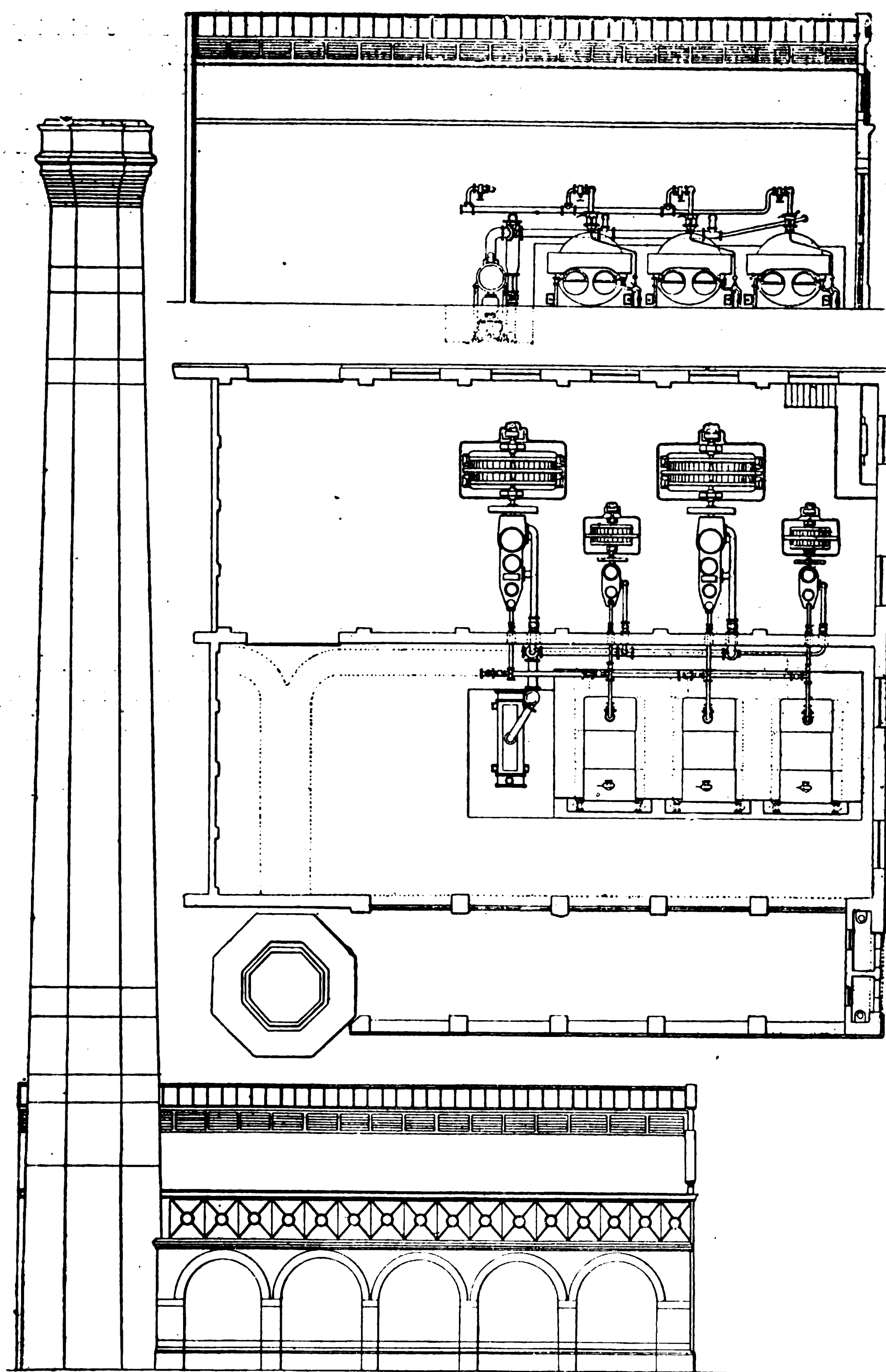


Fig. 3, 5 et 6.

La partie architecturale du bâtiment est due à M. W. Harpur ; les terrains sont très favorablement disposés pour les agandissements ultérieurs.

Les bâtiments qui peuvent être agrandis jusqu'à trois fois leurs dimensions actuelles, sont représentés par les figures 3, 4, 5 et 6. La La salle des machines et des dynamos a

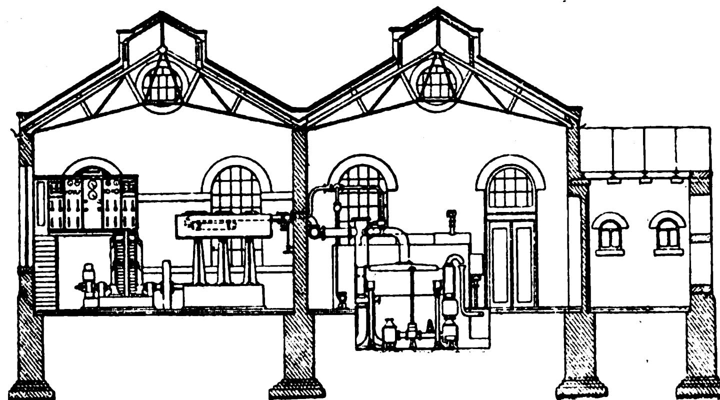


Fig. 4.

24 m. 40 × 9 m. 15, ainsi que la salle des chaufferies ; la soute à charbon a 18 m. 30 × 4 m. 25 ; la cheminée a 45 m. 75 de hauteur.

Il y a actuellement trois chaudières en service (fig. 5 et 6), elles sont du type « Economique » de Davey, Paxman et Cie et sont timbrées à 11,25 kg cm². Elles sont munies d'un double service d'alimentation ; dans un cas, l'eau peut être fournie par les canalisations de la ville, et forcée dans les chaudières au moyen d'aspirateurs ; dans l'autre cas, l'eau de condensation est filtrée et ensuite rejetée dans les chaudières au moyen de pompes Worthington, du modèle de la marine. En outre, un réservoir d'eau de pluie est disposé au-dessus du hangar à charbon. L'agencement général est représenté dans les figures 5 et 6 ; les conduites de vapeur sont en cuivre, ainsi que les conduites d'échappement.

Les moteurs sont du type vertical à triple expansion et à condensation. M. Massey pense qu'ils peuvent être aussi économiques à faible charge qu'à pleine charge. Ils présentent la disposition nouvelle suivante : chaque cylindre est muni d'une valve d'admission spéciale, en sorte que, à charge variable, le travail pourra être également distribué entre tous les cylindres. Les constructeurs ayant terminé les moteurs avant qu'ils pussent être employés, en ont profité pour étudier cette disposition spéciale et réussirent à commander les valves automatiquement par le régulateur.

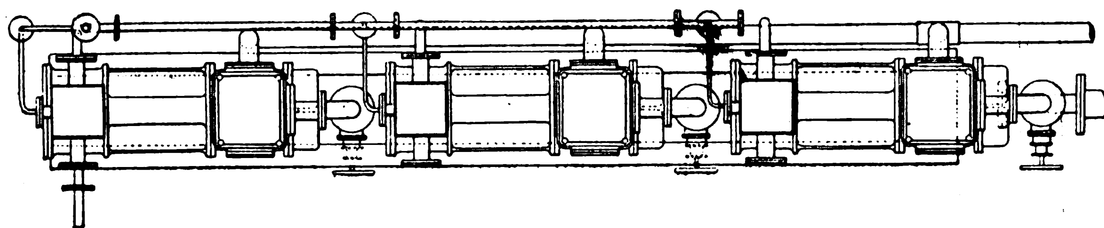


Fig. 7.

Voici quelles sont les dispositions générales de cet arrangement :

Le régulateur agit sur un piston placé dans un petit cylindre à vapeur horizontal ; une des extrémités de la tige de ce piston est reliée à angle droit avec un arbre horizontal, placé le long de l'avant d'un des côtés des cylindres. Rectangulairement à cet arbre et rigidement liée avec lui, se trouve pour chaque cylindre, l'extrémité d'une tige dont l'autre extrémité

est en communication avec la valve d'admission du cylindre correspondant.

Il est évident que, lorsque la charge varie, le régulateur agit sur le petit cylindre dont la tige oblige l'arbre horizontal à un mouvement correspondant, qui règle l'admission et répartit automatiquement le travail dans les cylindres. Cette disposition a donné, jusqu'à présent pleine satisfaction.

Il y a quatre moteurs. Deux sont du type vertical, à triple expansion et à condensation ; ils peuvent donner chacun 270 chevaux au frein, leur vitesse angulaire étant de 133 tours à la minute. Les deux autres moteurs sont du type compound vertical : chacun a une puissance de 65 chevaux au frein, à la vitesse angulaire de 200 tours à la minute. Tous ces moteurs sont accouplés directement aux génératrices.

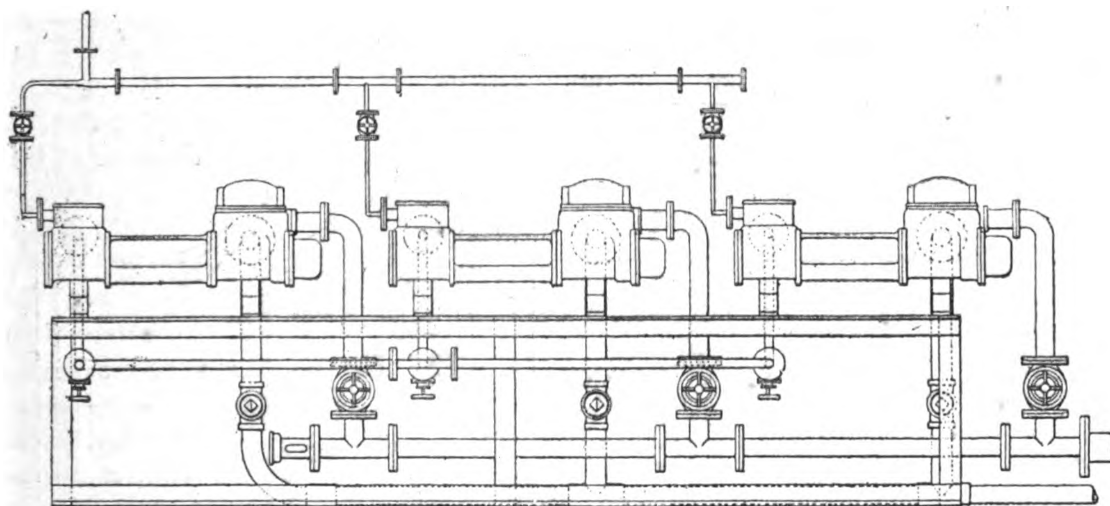


Fig. 8.

La vapeur d'échappement des cylindres se rend d'abord dans une conduite générale, puis ensuite au condenseur ; toutefois, on peut à volonté supprimer ce dernier, et la vapeur s'échappe alors directement dans l'atmosphère par la cheminée.

Les figures 10 et 11 représentent le condenseur, qui a été construit par J. Watt and cº Il comprend un condenseur vertical de surface ayant une longueur de tubes de 305 mètres et deux pompes à double effet, l'une pour l'air, l'autre pour la circulation ; celle-ci est capable d'élever par heure 113,5 m³ d'eau à 4,57 m. de hauteur.

Le condenseur est capable de maintenir un vide de 0,95 kg par cm² dans les tubes d'échappement.

La succion des pompes de circulation est reliéée à un grand puits ou bassin arrangé dans la terre, à l'extérieur de la station ; l'eau qui a passé par les tubes est recueillie dans une auge ouverte et un canal la conduit au puits par un chemin tortueux. Le chemin parcouru est tel qu'en arrivant au puits, où elle se mélange avec l'eau naturelle, l'eau est suffisamment refroidie pour être à nouveau employée pour la condensation.

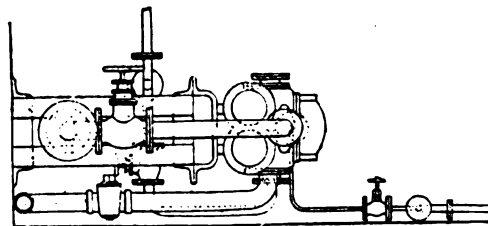


Fig. 1.

La succion des pompes à air est en communication avec le condenseur et elle refoule l'air dans une série de réservoirs pourvus de filtres qui séparent l'huile de la vapeur condensée. L'eau chaude est ensuite dirigée sur

un puits d'où elle est fournie aux chaudières, au moyen de pompes Worthington du type de la marine.

Les deux grands alternateurs Siemens sont remarquables par leurs dimensions; ils peuvent fournir chacun 75 ampères sous 2 500 volts, avec 40 périodes à la seconde; l'armature en forme de disque est mobile; elle a

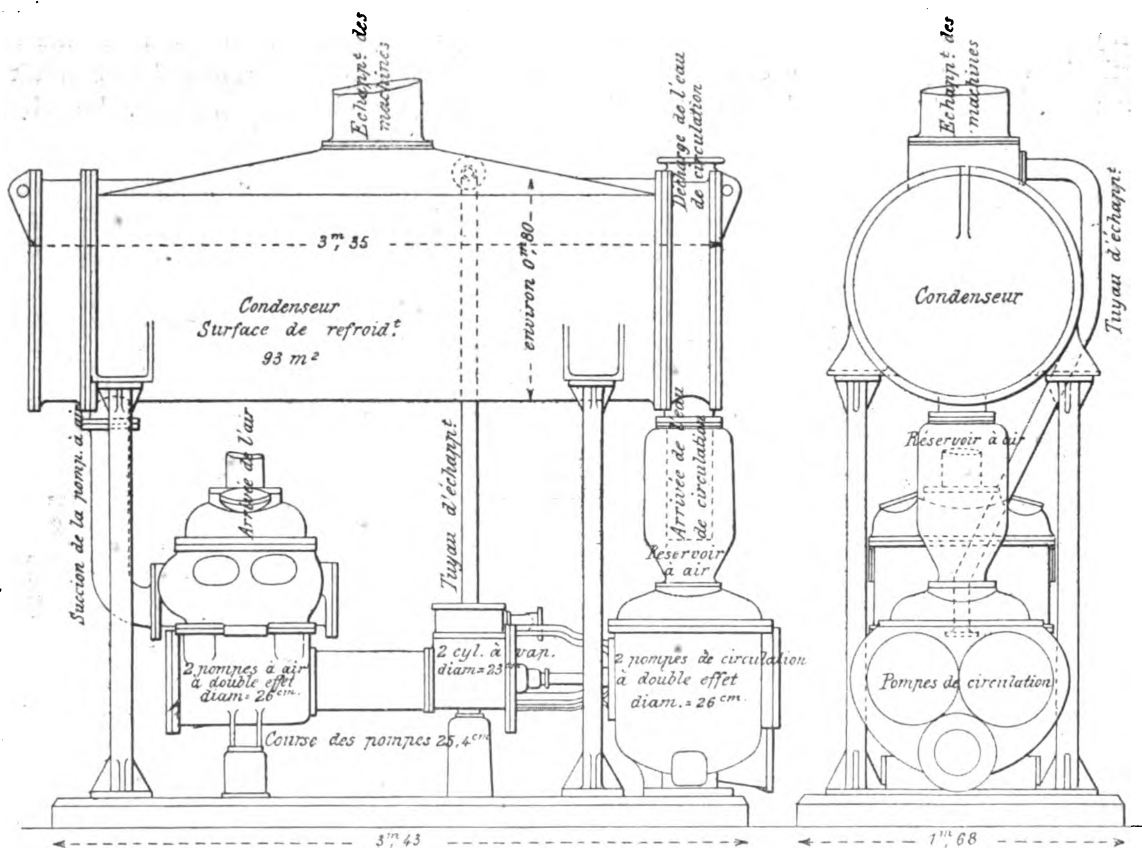


Fig. 10 et 11.

environ 5 mètres de diamètre.

Les excitatrices sont couplées directement sur un prolongement de l'axe des alternateurs en sorte que chaque unité est complète en elle-même. Les excitatrices sont du type Siemens à courants continus et donnant 100 ampères sous 45 volts.

Les deux plus petits alternateurs donnent chacun 16 ampères sous 2500 volts; leurs excitatrices qui sont aussi montées sur le même arbre moteur donnent chacune 65 ampères sous 45 volts.

Le tableau de distribution qui est installé sur une galerie à une des extrémités de la salle des machines, comme on peut voir sur la figure 4, est arrangé de façon qu'un quelconque des alternateurs outous les quatre en quantité puissent être connectés à l'un ou l'autre des quatre conducteurs principaux ou à tous les quatre simultanément. Actuellement, deux feeders sur quatre seulement ont été posés.

Le tableau de distribution comprend cinq panneaux en ardoise. Le premier est le tableau « commutateur »; le second est consacré aux deux grands alternateurs; le troisième sert à la synchronisation; le quatrième est pour les deux petits alternateurs, et le cinquième sert de réserve pour des machines additionnelles et pour les deux feeders qui restent à poser.

Les panneaux des alternateurs sont pourvus de plomb fusibles, d'interrupteurs du courant

principal et du courant d'excitation, de voltmètres et d'ampèremètres. Le but du panneau « commutateur » est de permettre la liaison d'un quelconque des alternateurs à l'un quelconque des feeders, ce qui se fait au moyen de chevilles. Le retour est à la barre omnibus d'un tableau de retour qui est près du plancher; cette barre est mise à la terre.

Un pont roulant d'une force portante de 10 tonnes est disposé dans la salle des machines; il a une portée de 8,85 m. La réduction de mouvement peut être simple ou double suivant la charge, la chaîne et le tambour peuvent être adaptés à la hauteur du soulèvement. Le pont, est muni d'un puissant frein à frottement et d'un embrayage de sûreté pour éviter que la charge ne tombe brusquement. L'avancement se fait par un engrenage héliçoïdal qui attaque les roues motrices, qui sont à double rebords. Les mouvements sont commandés du plancher, au moyen de chaînes.

Les deux feeders à haute tension sont du type concentrique Silvertown. L'isolant en est particulièrement fort; les conducteurs sont d'abord recouverts d'une couche de caoutchouc pur, ensuite, d'une couche de caoutchouc vulcanisé; le tout est enveloppé par les fils de retour en cuivre étamé qui sont, à leur tour, recouverts de caoutchouc pur et de caoutchouc vulcanisé; l'ensemble est vulcanisé, puis recouvert d'un guipage et d'un rubannage. Ils sont enterrés dans des tubes en fer de 7 1/2 cm de diamètre; deux autres tuyaux ont été mis en place pour recevoir les autres feeders quand le développement du service l'exigera.

Les feeders sont conduits au centre de la ville à six sous-stations de transformateurs, placées en dessous du sol; une sous-station destinée à l'éclairage public est placée dans les sous sol de l'Hôtel-de-Ville. Les chambres à transformateurs sont formées de boîtes en fer de 91 cm en carré, profondes de 1 m. 85 et contenant chacune un transformateur Siemens de 40 kilowatts. Deux conducteurs Silvertown, type Y, pour basse pression, partent de chaque sous-station et servent à la distribution; ils sont placés directement dans le sol.

Les câbles principaux de distribution ne forment pas avec ceux des autres sous-stations un circuit complet; mais des boîtes de jonction sont disposées entre chaque station afin que, en cas d'accident arrivé à l'une d'elles, elle puisse être coupée et que le service soit assuré par les deux transformateurs extérieurs.

Le taux de réduction est de 2 500 vols à 105 volts; les transformateurs consistent en un enroulement primaire et un enroulement secondaire qui recouvrent la partie médiane d'un double circuit magnétique en fer laminé. Le noyau est en fer découpé à l'emporte-pièce, de très faible épaisseur et de qualité magnétique supérieure. Ces feuilles sont assemblées en un double circuit magnétique à trois corps, en les insérant dans les enroulements complètement terminés; le tout est maintenu par deux fortes pièces de fonte boulonnées. L'enroulement est fait sur une bobine solide dont le corps est entièrement en matière isolante et les joues en bois. La matière isolante est très souple et conserve ses propriétés mécaniques et isolantes à la plus haute température que le transformateur puisse atteindre en marchant constamment à pleine charge. Dans la bobine à haute tension, les couches successives de fil sont séparées par une couche de cet isolant.

Les extrémités de l'enroulement primaire sont isolées du bois des joues par de l'ébonite, tandis que les extrémités du circuit à basse pression sont montées directement sur le bois.

Afin d'éviter l'accumulation des gaz explosifs dans les chambres des transformateurs ou dans les boîtes de jonction, elles sont reliées à des tuyaux de ventilation, placés le long des plus proches bâtiments.

L'éclairage public est assuré par des lampes à arc de Siemens, qui sont placées à 6 m. 75 au-dessus du sol. Les candélabres sont en fonte de fer et assez artistiques; une porte aux armes de la ville de Cardiff est disposée dans la base afin de donner accès aux conducteurs

et aux interrupteurs. Ces poteaux sont placés sur des refuges au milieu des rues partout où la largeur de celles-ci le permet ; dans les rues trop étroites, ils sont placés au bord des trottoirs. Ils sont enfoncés à 1,05 m. dans le sol.

Comme on craignait que l'éclairage à arc par courants alternatifs ne donnât pas complète satisfaction, M. Massey résolut de transformer le courant alternatif en courant continu avant de l'utiliser pour l'éclairage à arc. Les redresseurs de courant du type Ferranti sont représentés par la figure 12. Ils consistent en un petit moteur synchrone qui entraîne deux commutateurs ; ils sont placés dans les sous-sols de l'Hôtel-de-Ville, à 2 kilomètres environ de la station centrale. Trois de des appareils sont placés dans une sous-station temporaire ; deux sont en service courant ; le troisième sert de réserve. Ils peuvent alimenter chacun 24 lampes de 12 ampères en deux circuits de 12 lampes en série.

Le petit moteur synchrone monophasé a un commutateur à basse pression pour redresser le courant nécessaire pour alimenter les inducteurs. L'arbre de l'armature est supporté par quatre longs paliers qui sont munis de graisseurs automatiques à anneaux. Un commutateur à haute tension est placé à chaque extrémité de cet arbre et chacun de ces commutateurs alimente un circuit.

Les balais peuvent être calés dans la position la plus favorable. Un commutateur inverseur et un interrupteur sont intercalés dans chaque circuit, tandis qu'un interrupteur à liquide est placé dans le circuit primaire de chaque transformateur pour lampes à arc ; cette disposition permet de couper les lampes graduellement, et d'éviter ainsi la vacillation des lampes à incandescence qui se produirait si l'on coupait brusquement un circuit de 12 lampes à arc sur le circuit de la petite machine.

Les moteurs sont actionnés par le courant de deux petits transformateurs qui abaissent le courant à 100 volts ; ils sont enfermés dans de fortes boîtes en fonte, et sont munis de plombs de sûreté pour les circuits à haute ten-

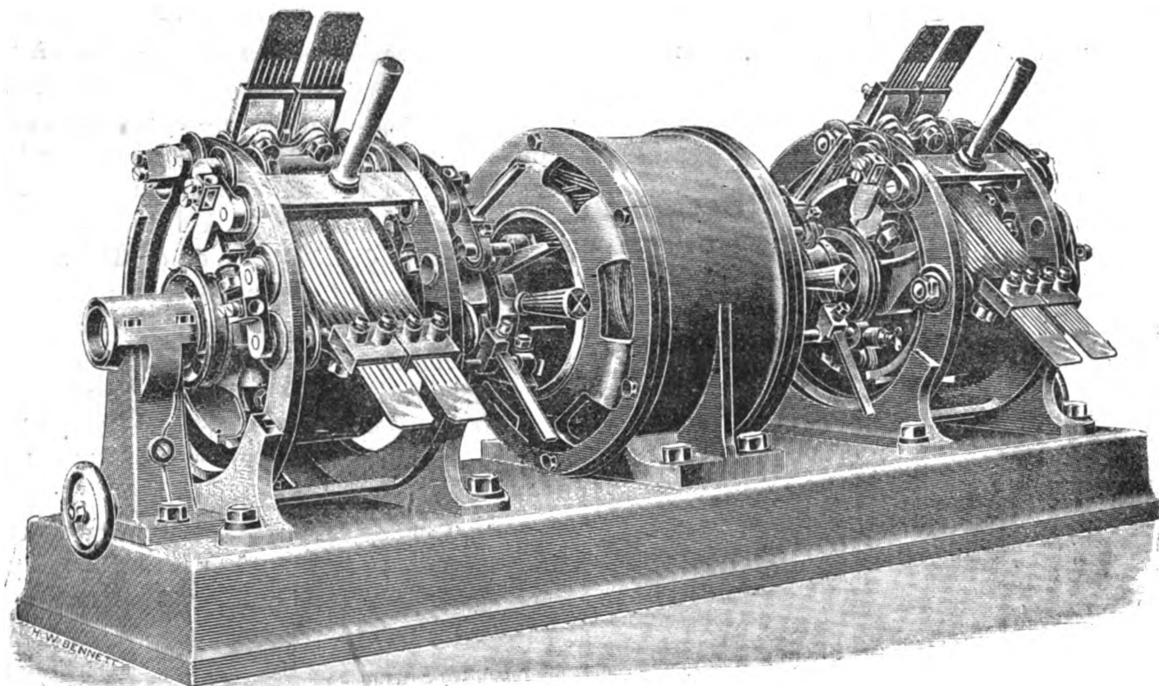


Fig. 12.

sion et à basse tension. Il y a quatre transformateurs Ferranti à intensité constante pour les lampes à arc, chacun de 10 unités de capacité; ils sont calculés pour donner un courant d'intensité constante de 12 ampères dans le secondaire; la tension est abaissée à 650 volts.

L'éclairage privé est encore peu développé, ce qui tient en partie à la fin prochaine de l'année. La plus grande consommation enregistrée à la station centrale correspond à environ 600 à 700 lampes de 40 watts; le développement semble prendre maintenant un rapide essor.

Le prix du gaz est de 13 1/4 centimes le mètre cube, et le courant est vendu à raison de 0 fr. 63 le kilowatt-heure. La ville estime qu'avec un emploi judicieux des lampes électriques et de l'interrupteur, les prix seront les mêmes pour le consommateur qui aura donc tout avantage à adopter le dernier système.

En résumé, cette station centrale qui présente différents points nouveaux fait honneur aux ingénieurs et aux organisateurs qui l'ont exécutée; les résultats obtenus seront suivis avec intérêt.

G. P.

Transmetteur pour télégraphie sous-marine Muirhead (1893)

Dans cet appareil, la poulie motrice A commande (fig. 1, 2 et 3) l'axe F par un train de galets de friction B C D E : C et D étant appuyées sur B et E par les ressort H. Deux de ces galets, C et E sont molletés de manière a augmenter l'adhérence des galets B et D, garnis de caoutchouc durci.

Les leviers de contacts $S_1 S_2 S_3$ se sont terminés, d'un côté par des touches arrondies *x*, prises dans les gorges du galet J, et, de l'autre, par des lames de ressorts *y*, en contact, au repos avec les bornes 22 de l'isolant *v*. Les leviers S_1 et S_2 sont isolés l'un de l'autre, et reliés par les fils *u* aux bornes de l'appareil. La bande de papier perforé passe entre le galet J et la roue dentée F, et, chaque fois qu'un trou passe

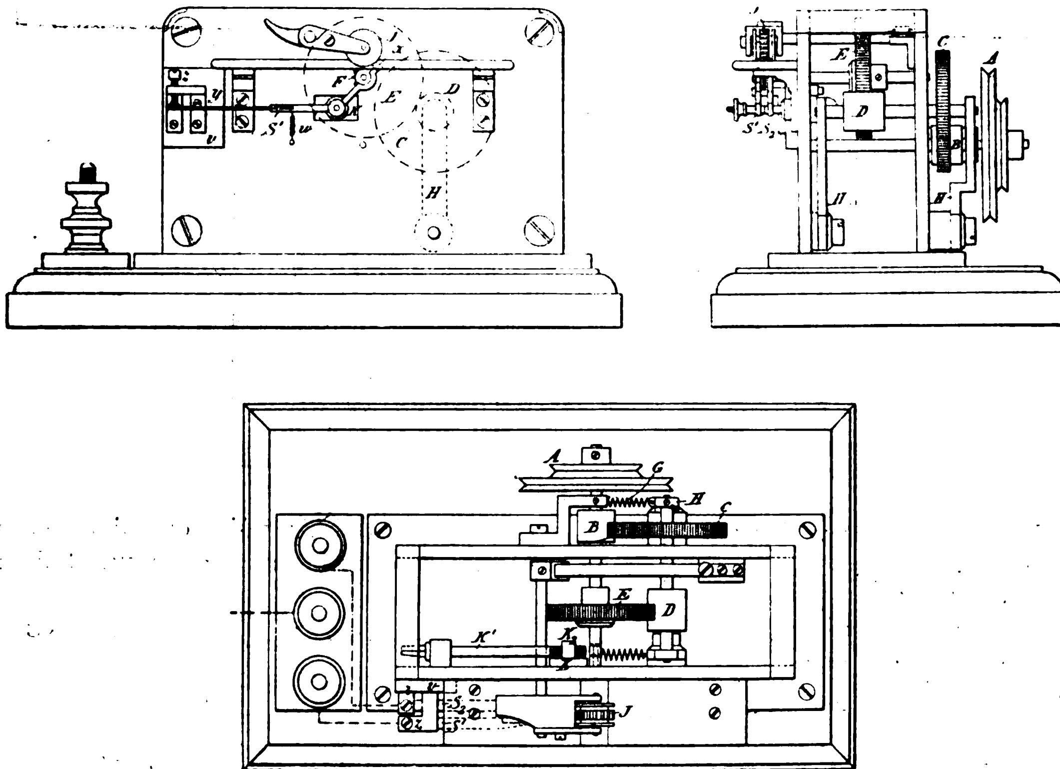


Fig. 1, 2 et 3

devant la touche *x* d'un de ces leviers, elle tombe au travers de ce trou dans la gorge correspondante de J et rompt, avec contact de son levier en *r*, le circuit du trasmetteur automatique. La durée des contacts des leviers S_1

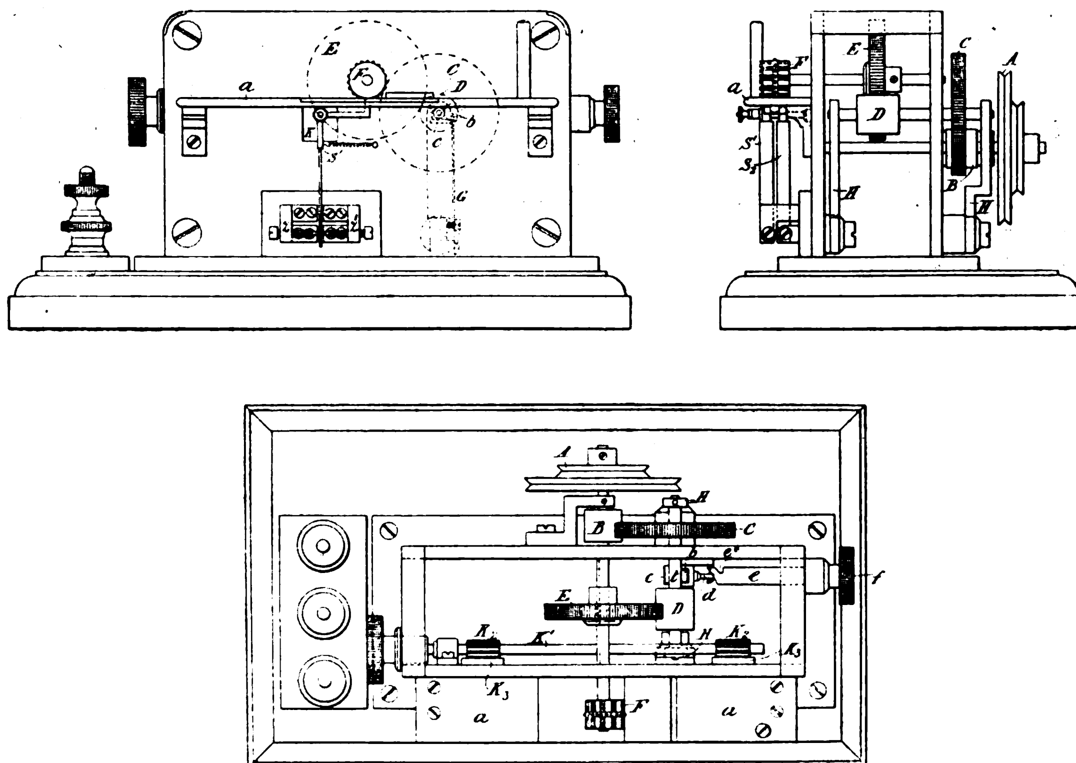


Fig. 4, 5 et 6.

et S_2 se règle en faisant varier par K_1 la distance de ces leviers à J.

En figure la plate-forte *a* est attachée à la pièce K, mobile verticalement par K_1 K_2 et les crémaillères K_3. Les leviers S_3 S_2 verticaux, se déplacent entre les contacts 2 et 2_1 reliés aux deux pôles de la pile. Pour faciliter le démarrage et l'arrêt, l'arbre des roues C et D est mobile de manière à permettre de séparer C et D de B et de E. L'arrêt s'opère par un ressort G, appuyé sur l'arbre *i* par un galet *b* et porteur d'un petit frein *c*, que l'on serre en tournant par *e'*, *c* le filet *e'* danslequel estengagé sa tige *d*.

Quant à la vitesse de rotation de F, elle est indiquée en lettres par minute par l'aiguille d'un galvanomètre relié à une petite dynamo commandée par cet axe.

Ainsi qu'on le voit en figure 6 chaque fois que l'un des leviers S_1 ou S_2 est abaissé, au passage d'un trou du papier, un courant passe de la pile dédoublée *cc* au primaire P du transformateur P S, qui actionne une des languettes du double relai T; puis, quand ce courant cesse, il se produit en S un courant de rup-

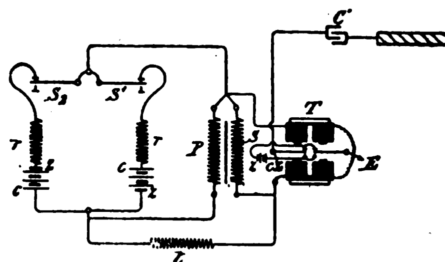


Fig. 7.

ture de sens opposé, qui actionne l'autre languette de T, de manière à envoyer dans le câble un courant antagoniste du premier, ou de renversement, que l'on prolonge plus ou moins en reliant P à S par une résistance ajustable *t*.

On arrive, dans ce système, à supprimer, par l'emploi des transmissions à frottement, les vibrations des mécanismes et à règler très exactement, par le renversement ci-dessus, la durée des courants.

G. R.

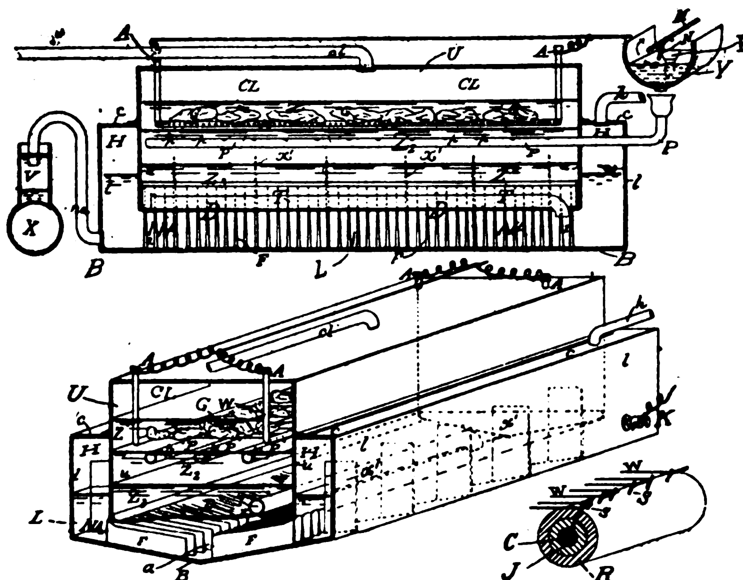


Fig. 1, 2 et 3.

Electrolyseur Carmichael (1894)

L'auge électrolyseuse est formée de deux compartiments U et L, séparés par un diaphragme D (fig. 4), incliné dans les deux sens, poreux et aussi mince que possible ; l'anode G en platine ou en carbone, est en U, à 65 m/m environ du diaphragme. La cathode en fer B K est en L, inclinée et ondulée de façon que les gaz puissent s'en échapper facilement sans la polariser, et aussi près que possible du diaphragme; mais on peut, pour obtenir des ions très concentrés, augmenter un peu cet écartement des électrodes. Dans l'électrolyse du chlorure de sodium, le chlore dégagé en G, monte en U, la soude et l'hydrogène se dégagent au compartiment L, l'hydrogène s'en allant par *h*. Quant au diaphragme, il est constitué par un ciment hydraulique moulé et feutré d'amiante. Après un certain temps de marche, le chlore se réunit en C L, d'où il s'évacue par *c l*, et l'électrolyte en U se différentie en 3 zônes : la supérieure z_1 immédiatement au-dessus de l'anode et chargée de chlore en dissolution; la zône z_2, immédiatement sous l'anode en chlorure de sodium intact; puis, enfin la zône z_3 de soude caustique dissoute. Sous le diaphragme dans le compartiment L, marqué N A, en communication par T avec z_3 se trouve la dissolution de soude caustique concentrée, qui se répand constamment, au travers du diaphragme

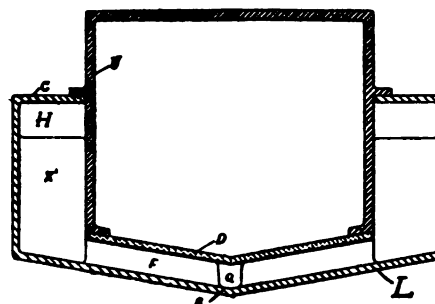


Fig. 4.

dans la zône z_3. La zône z_2 est alimentée de chlorure de sodium par un tuyau P percé de trous *p*, de manière à maintenir la surface de l'anode toujours en contact avec une dissolution fraîche. A mesure que cette dissolution s'écoule de *t*, la soude s'évacue de T par *n a*

de sorte que l'électrolyse fonctionne d'une façon continue.

Le compartiment L est divisé par des cloisons F en cellules communiquant par les trous *a*. prolongées en *x x* (fig. 4 et 5) jusqu'en H. La dissolution de soude passe de la cellule 1 à la cellule 2 etc..., en se concentrant à chaque

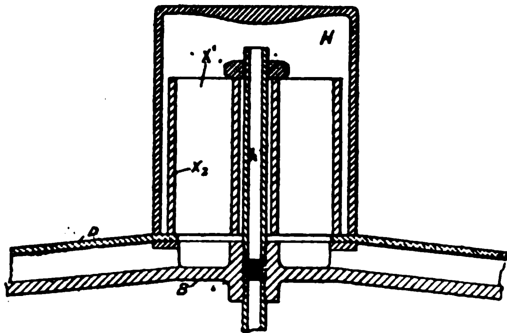


Fig. 5.

passage d'une cellule, par la soude électrolysée en B ; les cellules aident à cet enrichissement méthodique de la dissolution qui quitte ainsi l'appareil à son maximum de concentration.

G. R.

Compteur différentiel Aron (1893)

L'axe moteur *a* du compteur est commandé par une roulette *b*, à axe c_1 équilibré en *d*, et prise entre deux plateaux A, dont un seul est indiqué. L'un de ces plateaux commande un pignon *e*, à taquet *f*, qui, à chaque tour de *e*, frappe le bras h_2 du levier $h_2\,g\,h'$ dont la levée de h_1 laisse le cliquet *i* retomber sous ce bras et le retenir ; mais quand l'axe $c_1\;c_2$ vient, entraîné par *l*, heurter la butée *k*, *i* se relève, et laisse h_1 retomber jusqu'à l'arrêt de h_2 par *l*, position où il demeure, avec *m* s'opposant au passage de c_1 tant que *f* n'a pas de nouveau repoussé h_2. Les deux plateaux A sont commandés par des mécanismes d'horlogerie dont la différence des vitesses est proportionnelle à l'intensité du courant dépensé sur la ligne, courant dont la roulette *b* totalise ainsi la dépense. Tant que la vitesse de *b* ne dépasse pas la limite imposée pour la sécurité du compteur — *e* fait relever *m* avant le passage de *e* qui se trouve au contraire arrêté si *b* dépasse cette vitesse, comme, par exemple, à la suite de l'arrêt d'un des deux plateaux A. L'arrêt de *b*, en prise avec les deux plateaux, entraîne l'arrêt de ces deux plateaux, et, par conséquent, de tout

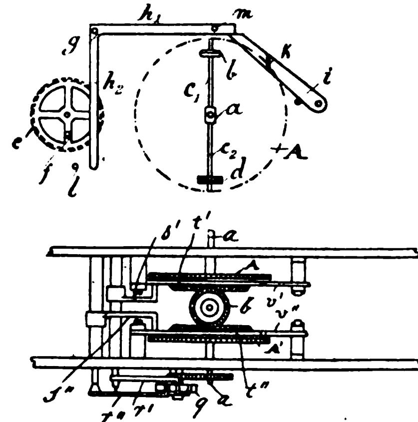


Fig. 1.

le compteur, qui conserve ainsi le chiffre marqué au moment même de l'arrêt du premier plateau.

De même si l'on essaye de fausser les indications du compteur en faisant marcher *a* en sens inverse, c_2 soulève *i* par H puis vient s'arrêter sur *m*, comme précédemment.

En *fig* 2, 3 et 4, l'arbre *a* commande une

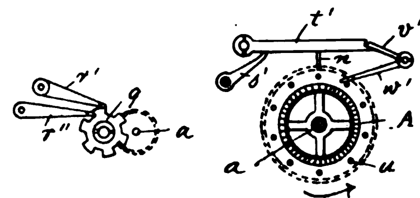


Fig. 2.

étoile *q*, à double rochet $r_1\;r_{11}$ dont les axes portent des leviers $s_1\;s_2$, et disposés de manière que l'un de ces rochets engage l'étoile pendant que l'autre est sur le haut d'une dent Chacun des plateaux A porte des taquets *u*, et est surmonté d'un levier *t'* et *t''*, à bras *n*, et supporté respectivement par *s'* et *s''* quand l'un de ces leviers, r_1, par exemple, est sur le haut d'une dent *q*, son bras s_1 lève t_1, et le dégage des taquets *u* de A, en même temps qu'il l'engage avec *v'*, jusqu'à ce que le choc d'une

butée u sur w' vienne l'en dégager, et le laisser ainsi libre de retomber dès que s_1 le permettra, par la chute de r_1 dans une dent de q.

En somme, chacun des plateaux A et A', rencontre à des intervalles fixés un obstacle qui se trouve supprimé en temps voulu par l'intermédiaire de l'axe a du compteur différentiel, tant que la différence de vitesse de ses deux mouvements ne dépasse pas une limite donnée. Le rapport des deux roues a et q, ainsi que le nombre des dents de q et des butées u sur les plateaux A et A_1, sont calculés de manière que la roulette b, et, par conséquent, les deux plateaux ne sont arrêtés que si la différence des vitesses de A et de A_1 dépasse de beaucoup la limite prévue.

G. R.

Diaphragmes Killiani (1894).

Ces diaphragmes pour électrolyseurs se composent d'une feuille de parchemin c, comprimée et maintenue entre deux rangées de tiges de verre ou de porcelaine a et b, super-

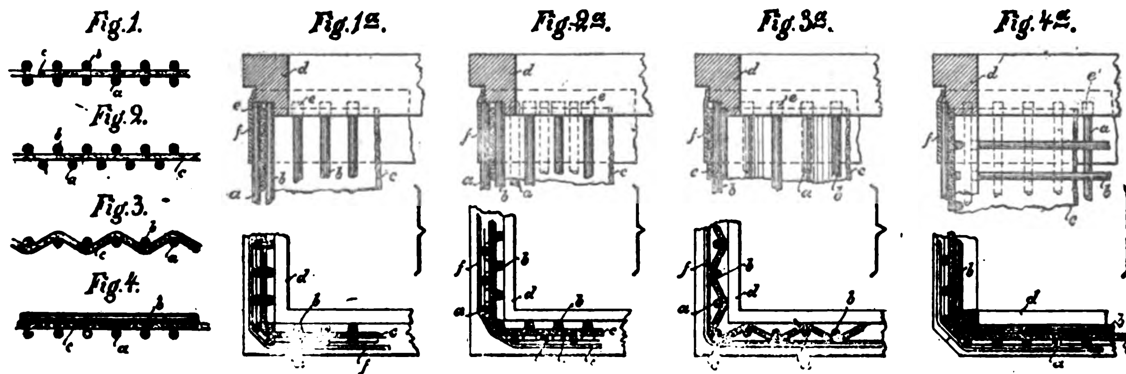


Fig. 1 à 4.

posées (fig. 1 et 1_a) ou alternées (fig. 2 et 2_a) ou encore croisées (fig. 4 et 4_a) ou enfin (fig. 3 et 3_a) disposées de manière à onduler le parchemin. Les extrémités de ces tiges sont solidement fixées dans deux cadres d et d_1, a encoches ee, de façon à constituer une sorte de cage (fig. 5), très solide ficelée par des bandes de caoutchouc f, disposées autour des tiges extérieures a.

On obtient ainsi des diaphragmes de toutes formes, d'une fabrication facile, en une matière

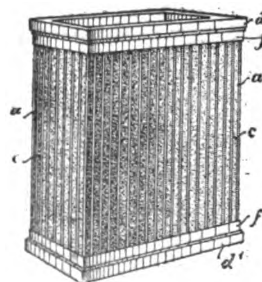


Fig. 5.

très souple, inaltérables, et qui n'oppose que très peu de résistance au passage du courant.

G. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES
Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Expériences préliminaires pour comparer la décharge d'une bouteille de Leyde à travers différentes branches d'un circuit divisé, par Lord Kelvin et Alex. Gall (1).

Dans ces expériences la partie métallique du circuit de décharge formait deux lignes de conducteurs, contenant chacune un fil d'épreuve et les fils de nature et dimensions différentes dont on voulait étudier l'influence sur la décharge.

Les fils d'épreuve étaient aussi identiques que possible et montés de la même manière. Chacun d'eux était un fil de platine de 51 cm de longueur, de 0,006 cm de diamètre et de 12 ohms de résistance, tendu suivant l'axe

(1) Communcation faite au dernier Meeting de l'Association Britannique.

d'un tube de verre. L'une des extrémites de ce fil était soudée à une monture rigide en laiton, l'autre était attachée à un faible ressort portant une aiguille légère, amplifiant l'allongement qu'éprouvait le fil sous l'influence de la chaleur développée par le passage de la décharge. Le mouvement de l'extrémité de l'aiguille était inscrit sur une feuille de papier fixée sur un cylindre tournant. Deux voltmètres électrostatiques verticaux de Lord Kelvin, permettant d'évaluer des différences de potentiel variant de 1500 à 10,000 volts, servaient à mesurer la différence de potentiel des armatures de la bouteille de Leyde; l'armature externe était reliée à la cage, et l'armature interne au plateau isolé de l'instrument.

Généralement les deux fils que l'on comparait avaient la même longueur quand ils étaient de même nature, mais des diamètres différents; les élongations des aiguilles des fils d'épreuve montraient que, comme on pouvait s'y attendre, la quantité de chaleur dégagée dans le fil d'épreuve de la branche contenant le plus gros des fils comparés était plus grande que celle qui était dégagée dans l'autre fil d'épreuve. A ce propos les auteurs disent avoir l'intention de comparer ainsi des tiges de même nature, de même longueur et de même diamètre, les unes pleines, les autres creuses.

En opérant avec des fils de diverses substances non magnétiques — par exemple en cuivre et en platinoïde — de même longueur mais de diamètres très différents, de manière à ce que ces fils aient la même résistance, les élongations des aiguilles étaient sensiblement égales.

Dans une série d'expériences, les conducteurs essayés étaient deux fils de cuivre de 0,16 cm. de diamètre, 9 mètres de long et de 0,985 ohm de résistance, résistance qui était petite par rapport à celle (12 ohms) de chacun des fils témoins. L'un des fils de cuivre était enroulé en hélice sur un tube de verre de 7 cm. de diamètre; cette hélice avait 40 tours distants de 0,785 cm. l'un de l'autre et occupant une longueur de 35 cm. L'autre était attaché par son milieu à un fil de soie fixé au plafond et ses deux moitiés se trouvaient dans l'air jusqu'aux points de jonction avec le reste du circuit dont il faisait partie. L'allongement du fil d'épreuve de ce circuit était environ deux fois plus grand que celui du fil d'épreuve du circuit contenant l'héliée. En mettant, à l'intérieur du tube de verre sur lequel était enroulé l'hélice, un paquet de cent soixante-et-onze fils de fer bien recouverts de vernis, l'allongement du fil d'épreuve du circuit de l'hélice devenait alors environ 10 fois plus grand que celui de l'autre fil.

Les dernières comparaisons ont été faites avec des fils de fer et des fils de platinoïde. Leur longueur commune était 502,5 cm. Le diamètre du fil de fer était 0,034 cm. et sa résistance 6,83 ohms. Le diamètre du fil de platinoïde était 0,058 cm. et sa résistance 6,82 ohms. Chacun de ces fils était suspendu par son milieu à l'aide d'un fil de soie fixé au plafond. Quatorze expériences ont été faites, les sept dernières en interchangeant les fils d'épreuve relativement aux branches où ils étaient placés dans les sept premières. La table suivante donne les moyennes des résultats

Energie restant dans les jarres après décharge.	Energie dépensée	Allongement des fils d'épreuve en cms.			
		Dans le circuit contenant le platinoïde.		Dans le circuit contenant le fer.	
			moyennes		moyennes
0,29 X 10^6 ergs	10,82 X 10^6 ergs	0,01794		0,01226	
»	»	0,01861	0,01829	0,01247	0,01239
»	»	0,01832		0,01244	
0,27 X 10^6 ergs	10,84 X 10^6 ergs	0,01823		0,01276	
»	»	0,01828	0,01836	0,01280	0,01261
»	»	0,01828		0,01244	
»	»	0,01865		0,01241	

obtenus, avec les détails relatifs aux capacités et aux voltages des bouteilles de Leyde.

Dans chaque cas, quatre jarres, reliées ensemble de manière à n'en faire qu'une de 0,02742 microfarad de capacité, étaient chargées à un potentiel de 9000 volts et déchargées à travers le canal divisé. Par conséquent l'énergie des jarres avant la décharge était de $11,105 \times 10^6$ ergs. Dans chacun des trois premiers cas on constatait qu'une différence de potentiel de 1450 vols restait après la décharge; dans chacun des quatre derniers cette différence était de 1400.

La manière de mesurer l'allongement des fils d'épreuve était sans doute un peu grossière, mais les nombres du tableau montrent que néanmoins les moyennes relatives à une dépense d'énergie de 10,82 mégergs et à celle de 10,84 mégergs sont excessivement voisines. Ils montrent également que l'allongement du fil d'épreuve en série avec le fil de platinoide est environ une fois et demie plus grand que celui du fil en série avec le fer. Ce résultat est intéressant, non seulement par lui-même; mais encore par sa relation avec les très intéressantes expériences de M. O. Lodge décrites dans son livre *Conducteurs de la foudre et parafoudres* lesquelles n'étaient pas décisives pour montrer la supériorité du cuivre sur le fer et indiquaient même dans quelques cas une supériorité apparente de ce dernier métal. Ce résultat est en outre conforme à celui qu'on pouvait déduire des expériences faites il y a huit ans par Lord Rayleigh et décrites dans son Mémoire *sur la self induction et la résistance des conducteurs composés*.

J. B.

Longueurs d'ondes de l'électricité dans les fils de fer, par Charles Saint-John (1).

Plusieurs physiciens se sont déjà occupés de la recherche de l'influence que peut avoir la perméabilité magnétique d'un métal sur la propagation des ondes électriques dans un fil de ce métal; les résultats contradictoires qu'ils ont obtenus engagèrent l'auteur à faire de nouvelles recherches sur ce sujet.

Après quelques expériences préliminaires sur lesquelles nous reviendrons bientôt, M. Saint-John adopta la disposition expérimentale que représente la figure 1. On voit que l'appareil est formé d'nn excitateur de Hertz à plaques dans le voisinage duquel se trouve un fil métallique LKOMN. Les extrémités de ce fil s'enroulent sur deux bobines de bois dont les axes sont constitués par un cylindre de caoutchouc. Ces bobines sont enfermées dans de petites boîtes de cuivre MN ayant 10 cm de hauteur, 10 cm de largeur et 4 cm d'épaisseur. Deux trous percés dans les parois antérieures de ces boîtes laissent passer le fil; pour assurer une bonne communication entre les boîtes et les fils, ceux-ci sont serrés par des vis contre deux petits blocs de cuivre soudés aux boîtes à la hauteur des trous. L'axe du caoutchouc des bobines est porté par une monture en bois E attachée à un chariot que l'on peut éloigner ou rapprocher de l'excitateur. Quand le chariot s'éloigne le fil se déroule de dessus les bobines en même temps que l'axe de caoutchouc éprouve une torsion; quand on le rapproche, la torsion de l'axe de coutchouc fait tourner les bobines et le fil s'enroule. On peut ainsi varier très facilement la longueur des côtés KL et MN de 15 cm à 1 000 cm; une vis de pression, en empêchant l'axe de caoutchouc de se détordre, permet de fixer le fil secondaire dans toute position. Quant aux petites boîtes de cuivre, elles ont pour but de maintenir constantes les capacités des extrémités du fil quelles que soient les longueurs du fil enroulées sur les bobines.

Afin d'obtenir une grande régularité des étincelles primaires, l'interrupteur ordinaire de la bobine d'induction est remplacé par un interrupteur spécialement construit par l'auteur. Cet interrupteur est formé de deux tiges conductrices plongeant dans des godets de mercure; les godets sont tous deux reliés à

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 425-441, novembre 1894.

l'un des pôles d'une batterie d'accumulateurs et à l'une des armatures du condensateur de la bobine ; les tiges sont reliées à l'une des extrémités du fil primaire de la bobine et à l'autre armature du condensateur. Un petit moteur électrique fait tourner un arbre qui, au moyen d'excentriques, fait monter et descendre les deux tiges ; l'arbre tournant avec une vitesse de 750 tours par minute, le courant de la bobine se trouve interrompu 25 fois par seconde.

La bobine d'induction a 53 cm. de longueur et peut donner des étincelles de 19 cm. de long. Les plaques de l'excitateur sont carrées et ont 40 cm. de côté ; elles sont fixées à 61 cm. l'une de l'autre. Les étincelles jaillissent entre deux sphères de platine de 3 cm. de diamètre. Le côté KM du fil secondaire est disposé à 6 cm. de l'axe de l'excitateur, parallèlement à cet axe et de manière que son milieu O soit en face de l'interruption, qui avait environ 6 mm. de longueur. La distance des côtés KL et MN est 30 cm.

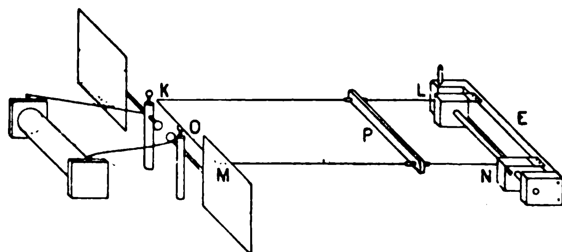


Fig. 1.

Pour étudier les oscillations dans le circuit secondaire, l'auteur emploie la méthode bolométrique de MM. Paalzow et Rubens. Les extrémités des fils du bolomètre sont enroulées sur deux petits bouts de tube capillaire dans lesquels passe le fil secondaire et qui sont maintenus par la traverse de bois P. Les courants induits développés dans ces fils par les oscillations électriques échauffent le bolomètre et le pont de Wheatstone dont il forme une branche, se trouve déréglé. L'auteur a reconnu, comme l'avaient déjà fait MM. Paalzow et Rubens, qu'on ne peut obtenir une déviation constante du galvanomètre. Pour cette raison une lecture se fait de la manière suivante : L'interrupteur est mis en mouvement, le courant est lancé dans la bobine d'induction, et l'on observe le mouvement de l'aiguille du galvanomètre ; quand celle-ci est arrivée à l'extrémité de sa première oscillation, on rompt le courant de la bobine et l'on note la déviation observée. L'auteur a constaté que, dans les mêmes conditions, cette déviation a une valeur suffisamment constante pour qu'elle puisse servir de mesure au phénomène qu'il étudie. En outre il a reconnu, en faisant passer des courants d'intensités connues dans le galvanomètre, que les déviations ainsi mesurées sont proportionnelles aux carrés de ces intensités.

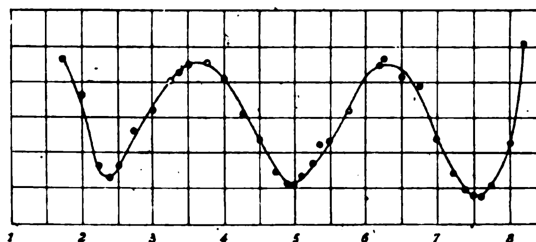


Fig. 2.

Pour faire une expérience on déroule les portions KL et MN du fil secondaire et l'on fait glisser les tubes capillaires qui portent les extrémités du fil du bolomètre jusqu'en M et N. On fait alors une mesure de la déviation. On raccourcit ensuite les longueurs KL et MN d'une petite quantité et on fait une nouvelle mesure. On continue ainsi jusqu'à ce que la longueur KL et MN soient réduites à 15 cm. environ. Pour relier entre eux les résultats obtenus, on construit une courbe en portant en abcisses les longueurs des fils O M N, et en ordonnées les déviations correspondantes.

La figure 2 montre la courbe obtenue avec un fil de cuivre de 0,1201 cm. de diamètre. On y remarque trois minima de quatre maxima sensiblement à égale distance les uns des

autres. Cette forme de courbe s'explique très bien par les phénomènes de résonance. Sous l'influence des vibrations de l'excitateur, des vibrations électriques prennent naissance dans le fil et les deux extrémités du fil, où les mouvements de l'électricité ne peuvent se produire, deviennent des nœuds de vibrations tandis que le milieu O du fil, où le mouvement électrique n'est gêné par aucun obstacle, devient un ventre. Aux nœuds le potentiel varie périodiquement et la différence des potentiels que possèdent à un même instant les deux extrémités du fil devient maximum ou minimum quand la longueur du fil est égale à un nombre entier de demi-longueurs d'onde.

Cette explication fournit immédiatement un moyen de déterminer la longueur d'onde des vibrations qui se produisent dans le fil car il est évident que celle-ci doit-être égal à la différence des longueurs de fils qui donnent lieu à deux maxima consécutifs. Avec le fil auquel se rapporte la figure 2, les maxima ont lieu pour des longueurs comptées à partir de O, égales à

45, 306, 562,5 et 818 cm.;

par conséquent, on a pour la demi-longueur d'onde des valeurs égales aux différences des nombres précédents,

261, 256,5, 255,5,

valeurs qui concordent bien entre elles.

Toutefois on constate que la première valeur diffère assez sensiblement des deux autres. On ne peut guère attribuer cette différence à une mauvaise détermination de la longueur de fil que donne la déviation maximum car l'auteur a constaté que cette longueur peut être déterminée avec beaucoup d'exactitude. D'ailleurs les nombres suivants, qui indiquent les déviations observées dans deux séries d'expériences avec un fil de fer, montrent bien avec quelle rapidité la déviation varie de part et d'autre du maximum.

Longueurs comptées à partir du milieu.......	15	25	35	40	42,3	45	50	60	75
Déviations du galvanomètre....	107	145	156	194,3	199,2	181,5	140	81	42
Déviations du galvanomètre.....	94	119	161	185	191	178	136	76	[illegible]

Aussi l'auteur attribue-t-il cette différence à ce que la capacité des boîtes en cuivre qui terminent les fils a une influence perturbatrice d'autant plus sensible que le fil est plus court.

En substituant au fil de cuivre un fil de fer de diamètre sensiblement égal (0,1186 cm.) on constate que les maxima se produisent pour des longueurs de fil, comptées à partir du milieu o, égales à

42,5, 301, 553 et 805 cm.

ce qui donne pour les valeurs de la demi-longueur d'onde

258,5, 252, 252,

valeurs qui concordent bien entre elles, si l'on tient compte de l'influence de la capacité des boîtes de cuivre terminant les fils, et qui sont un peu plus petites que celles trouvées avec le fil de cuivre.

L'étude analogue de deux autres fils de cuivre et de fer donne lieu à la même remarque.

En calculant les demi-longueurs d'onde correspondant à chacun de ces fils au moyen des longueurs totales des fils donnant lieu au troisième maximum l'auteur obtient les valeurs suivantes :

{ cuivre	(diam. = 0,1201 cm)...........	255,6 cm
{ fer	(diam. = 0,1186 cm)...........	251,6 cm
{ cuivre	(diam. = 0,07836 cm)..........	251,6 cm
{ fer	(diam. = 0,07850 cm)..........	246,8 cm

Comme dans toutes ces expériences on a pris soin d'avoir toujours la même longueur d'étincelles primaires, la période de vibration est la même. Par conséquent la diminution de la longueur d'onde dans le cas des fils de fer montre que la vitesse de propagation dans ces fils est moindre que dans des fils de cuivre de même diamètre.

L'auteur fait remarquer ensuite que, si l'on admet que la période est donnée par la formule

$$t = 2\pi\sqrt{LC}$$

le produit LC doit avoir une valeur constante dans ses expériences. Pour deux fils de même diamètre la capacité par unité de longueur est la même; si on la désigne par γ et qu'on appelle λ et λ' les coefficients de self-induction par

unité de longueur du fil de cuivre et du fil de fer, on aura donc

$$l\lambda . l\gamma = l'\lambda' . l'\gamma,$$

ou

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{l^2}{l'^2},$$

l et l' étant les longueurs des fils de cuivre et de fer en résonance avec l'excitateur. Par suite le rapport des coefficients de self-induction par unité de longueur pourra se déduire des expériences.

Mais d'autre part la formule de lord Rayleigh donne pour l'inductance L' d'un circuit de longueur l formé d'un métal de perméabilité μ,

$$L' = L + l \sqrt{\frac{\mu R}{2pl}},$$

L étant l'inductance du même circuit en cuivre, R la résistance ohmique du circuit magnétique et p le produit par 2π du nombre d'oscillations. Si on y remplace L' par sa valeur

$$L' = L\frac{\lambda'}{\lambda},$$

il vient

$$L\left(\frac{\lambda'}{\lambda} - 1\right) = l\sqrt{\frac{\mu R}{2pl}}.$$

Calculant L pour un fil de cuivre de longueur l, replié comme il l'est dans ses expériences et prenant pour p la valeur 36×10^7, M Saint-John a pu déduire de cette dernière relation la perméabilité μ de trois fils de fer ; il a trouvé 430, 389, 536, valeurs parfaitement admissibles.

Une autre remarque est relative à l'amortissement. Les courbes obtenues montrent que la grandeur des maxima diminue quand la longueur du fil augmente et que cette diminution est beaucoup plus sensible pour les fils de fer que pour ceux de cuivre. Ce résultat est parfaitement d'accord avec la théorie. En effet, d'après celle-ci, le facteur d'amortissement est $e^{-\frac{Rt}{2l}}$ et, d'après la formule de lord Rayleigh, la résistance pour les oscillations rapides est

$$\sqrt{\frac{1}{2}pl\mu R}.$$

Or si on calcule au moyen de ces expressions le temps au bout duquel l'amplitude de l'oscillation est réduite à la moitié de sa valeur initiale, on trouve que ce temps est, pour le fil de fer de 0,1186 cm de diamètre, égal à celui de 6,5 oscillations et qu'il est 60 fois plus grand pour un fil de cuivre de même diamètre.

Enfin l'auteur donne en dernier lieu les résultats d'expériences faites sur des fils de cuivre de différents diamètres. Ils montrent que la longueur d'onde diminue à mesure que le diamètre décroît.

J. B.

Sur la self-induction et le potentiel de gravitation d'un anneau, par W. M. Hicks (¹)

Récemment, le Prof. Minchin publiait un mémoire (²) d'après lequel la self-induction d'un anneau parcouru par un courant, dont la densité en un point varie en raison inverse de la distance de ce point à la perpendiculaire au plan de l'anneau menée par le centre, a pour une expression pouvant s'écrire

$$\pi a \left\{ 4L - 8 + 2\frac{c}{a}\left(L - \frac{5}{4}\right) - \frac{1}{16}\frac{c^2}{a^2}(2L + 19) \right\} \quad (1)$$

où

$$L = \log \frac{8a}{c},$$

et où a désigne le rayon de la circonférence *moyenne* de l'anneau et c le rayon de la circonférence de section droite. La lecture de ce Mémoire a suggéré à M. Hicks l'idée de reprendre le même problème à l'aide des *fonctions toroïdales*, dont les propriétés sont développées dans les *Philosophical Transactions* (1881, p. 609, et 1884, p. 161). Il est ainsi conduit à l'expression

$$\pi a \left\{ \frac{4\cos^2\alpha}{(1+\cos\alpha)^2}[4L - 6 + (14L - 18)k^2] - \frac{1 + 2\cos\alpha}{3} \right\} \quad (2)$$

où α désigne l'angle de la droite qui joint le

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 456-473; novembre 1894.

(²) *Phil. Magazine*, t. XXXVII, p. 300 ; l'*Éclairage Électrique* p.

centre de la section droite au centre de l'anneau avec la tangente à la section droite menée par ce dernier centre, angle dont le sinus a pour valeur

$$\sin \alpha = \frac{c}{a},$$

et où

$$k^2 = \frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}.$$

Si l'on applique cette formule au cas, considéré par M. Michin, d'un anneau de 1 centimètre de rayon et dont la section droite a 0,1 cm de rayon, on trouve 33,36 unités C G S pour la self-induction. La formule trouvée par Maxwel pour un anneau de section infiniment petite,

$$4\pi a\,(L - 2) \qquad (3)$$

donne pour les mêmes dimensions, 29,9 unités C G S. L'auteur fait observer que ces résultats sont sensiblement moitié moindres que ceux que trouve M. Minchin, ce qui semble indiquer que ce dernier a confondu, dans ses calculs, le rayon avec le diamètre.

Une autre remarque importante est que la formule (1) de M. Minchin se réduit à la formule (3) de Maxwel lorsqu'on suppose le rayon c assez petit pour qu'on puisse négliger les termes contenant en facteur $\frac{c}{a}$ et les puissances supérieures de cette fraction. Cette hypothèse revenant à supposer α très petit, la formule (2) de l'auteur se résume alors à

$$\pi a\,(4L - 7), \qquad (4)$$

formule différente de celle de Maxwel et qui conduit, pour un anneau de 100 cm. de rayon et de 0,1 cm. d'épaisseur, à une valeur de la sel-finduction surpassant de 3,5 pour 100 la valeur que donne la formule de Maxwel.

L'auteur attribue cette divergence des conséquences de sa formule et de celles de M. Minchin à ce que cette dernière donne la valeur du flux à travers *l'ouverture* de l'anneau tandis que la sienne donne le flux total à travers l'ouverture et à travers l'anneau lui-même. Pour vérifier qu'il en est bien ainsi, il a calculé, par sa méthode, la pression du flux à travers l'ouverture seule et trouve

$$\pi a \frac{8 \cos^2 \alpha}{(1 + \cos \alpha)(1 + k)} \left\{ L - 2 - \frac{3}{4} k + \frac{1}{2}\left(L + \frac{1}{8}\right) k^2 + \frac{3}{8}\left(3L - \frac{31}{6}\right) k^2 \right\}$$

expression qui s'accorde bien avec celle de M. Minchin, quand on exprime celle-ci en fonction de α et K, et qui se réduit à l'expression (3) quand on suppose l'épaisseur de l'anneau négligeable.

On peut se demander pourquoi l'expression du flux total (2) ne conduit pas à l'expression (3) lorsqu'on néglige les dimensions de l'anneau. Il semble, en effet, que, lorsqu'on fait cette hypothèse, la distribution du courant ne doit plus avoir d'influence et que, par suite, on doit toujours retomber sur l'expression (3) établie en supposant la distribution du courant uniforme. Tout ce qu'on peut dire, c'est que la différence trouvée montre que, même quand la section est trop petite et le rayon de l'anneau très grand, l'action mutuelle des différentes parties du courant n'est pas négligeable.

Dans son Mémoire, M. Hicks étudie en outre le cas où le courant est distribué uniformément, cas d'une plus grande importance pratique que le précédent. Mais il est alors conduit à une expression contenant une intégrale dont on ne peut avoir qu'une valeur approximative et encore seulement lorsque k est très petit.

Il applique ensuite sa méthode de calcul à la recherche du potentiel de gravitation d'un anneau.

J. B.

Sur les effets des champs magnétiques sur la conductibilité électrique du bismuth, par James B. Henderson [1].

Depuis la découverte faite en 1857 par Lord Kelvin de la variation de conductibilité qu'éprouve le bismuth soumis à l'action d'un champ magnétique, de nombreux physiciens

---

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 488-499, novembre 1894.

se sont occupés de ce phénomène et l'on sait qu'il a été suffisamment bien étudié pour qu'on ait pu le faire servir à la mesure des champs magnétiques. Toutefois, l'auteur a pensé qu'il n'était pas inutile de compléter les expériences antérieures en utilisant le grand électro-aimant qu'a fait construire récemment M. H. du Bois (¹) et qui donne des champs magnétiques beaucoup plus intenses que ceux avec lesquels on a opéré jusqu'ici; il a en même temps recherché quelle pouvait être l'influence de la température sur le phénomène.

Le degré de pureté du bismuth que l'on emploie maintenant pour la construction des instruments destinés à la mesure des champs magnétiques et la facilité avec laquelle ces instruments peuvent être maniés, engagèrent l'auteur à faire porter ses recherches sur deux de ces appareils. Comme on le voit sur la

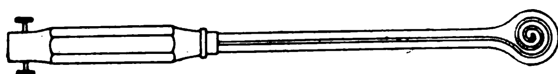


Fig. 1.

figure 1, ils sont formés d'une spirale de bismuth fixée sur un manche d'ébonite à l'extrémité duquel se trouvent deux bornes permettant de faire passer un courant dans le fil de bismuth. La spirale de l'un avait 18 mm. de diamètre et une résistance de 24 ohms; celle de l'autre avait 6 mm. de diamètre et 9 ohms environ de résistance.

Les champs magnétiques très intenses étaient produits, comme nous l'avons dit, par l'électro-aimant de M. du Bois; les champs magnétiques moyens s'étaient produits par l'électro-aimant de Ruhmkorff. Des pièces polaires de formes différentes étaient employées suivant qu'on se servait de la petite ou de la grande spirale.

La mesure de ces champs s'effectuait par la méthode balistique. Le galvanomètre était étalonné au moyen de courants induits produits dans une petite bobine placée au milieu d'un long solénoïde. Deux bobines balistiques différentes étaient employées ; l'une dans le cas où l'on expérimentait avec la grande spirale, l'autre lorsqu'on étudiait l'action des champs magnétiques sur la petite spirale. La première consistait en un tour de fil, de 18 mm. de diamètre fixé sur une des plaques de mica qui se trouvent de part et d'autre de la spirale de bismuth. La seconde était formée par un fil faisant quatre tours sur deux cylindres de bois, très minces de 6 mm. de diamètre situés de chaque côté de la spirale de bismuth. Les constantes de ces bobines balistiques étaient déduites de leurs dimensions par le calcul. En outre, le rapport de ces constantes fut déterminé expérimentalement à l'aide d'un champ uniforme; la valeur ainsi obtenue ne différait que de 0,5 o/o de celle que donnait le calcul.

La résistance des spirales de bismuth, dans le champ magnétique ou hors de ce champ, était mesurée avec un pont de Wheatstone, un courant continu traversant la spirale.

Tout d'abord, il n'était pris aucune précaution pour maintenir la température constante, mais des écarts entre les résultats obtenus à diverses températures montrèrent bientôt que la température n'était pas sans influence. Pour obtenir une température constante, on plaçait entre les pièces polaires, disposées horizontalement, un vase en cuivre cylindrique à génératrices verticales et ayant pour section droite une sorte de lemniscate, de façon que la largeur du vase fut très petite entre les pièces polaires ; ce vase était rempli d'eau. Sa spirale de bismuth et la bobine balistique étaient enfermées dans une boîte étanche en cuivre mince ; cette boîte était fixée aux parois du vase de cuivre et au moyen de cordes et de poulies, on déplaçait le vase verticalement pour faire passer la spirale et la bobine dans le champ magnétique. Des agitateurs étaient placés dans les deux parties larges du vase ; la température de l'eau était donnée par un couple thermoélectrique.

Toutefois cette disposition ne fut employée qu'avec la grande spirale, qui ne permit pas

(¹) *Wied. Ann.*, t. LI, p. 537; 1894 : *La Lum. Elect.*, t. LII. p. 140.

d'opérer à des températures supérieures à 30°, la matière servant à fixer la spirale, fondant à cette température. C'est même pour cette raison que des expériences furent faites avec la petite spirale ; celle-ci, étant fixée avec de la gomme-laque, permit d'opérer jusqu'à 80°. Cette spirale et la bobine balistique étaient encore enfermées dans une boîte étanche en cuivre.

Aux deux pièces polaires de l'électro-aimant était soudé un tube de cuivre, de manière à former une cavité cylindrique à génératrices horizontales ; la partie supérieure de cette cavité portait une fente permettant d'introduire rapidement dans le champ, la boîte contenant la spirale ; latéralement se trouvaient deux trous destinés à faire circuler dans la cavité un courant d'eau à température constante.

Deux séries d'expériences furent faites avec la grande spirale, l'une à la température de 0°, l'autre à 18°, et pour des intensités du champ, variant de 0 à 13,000 unités C G S environ ; la résistance de la spirale variait de 22 ou 24 ohms environ à 40 ou 38 ohms.

En portant les intensités du champ en abcisses et les résistances correspondantes en ordonnées, on obtenait deux courbes, affectant la forme de branches d'hyperboles, ayant leurs axes parallèles à l'axe des résistances et se coupant entre elles.

Avec cette grande spirale, des essais furent faits pour reconnaître si la variation de résistance était accompagnée d'hystérésis. Dans ce but, la résistance était mesurée pour la même valeur du champ, obtenue d'abord par des valeurs croissantes, puis des valeurs décroissantes, la température étant la même dans les deux cas. Les résistances trouvées ne présentaient que des différences de l'ordre des erreurs expérimentales.

Avec la petite spirale un plus grand nombre d'expériences furent faites. Le tableau suivant donne les résultats obtenus à la température de 18° C., l'intensité du champ atteignant jusqu'à 38 900 unités CGS ; la troisième colonne donne le rapport de la résistance pour une certaine intensité du champ à la résistance, pour un champ nul.

TABLEAU I

Champ magnétique en unités C. G. S.	Résistance en ohms	Rapport
0	8,57	1
5830	10,54	1,227
6310	10,74	1,253
6830	11 01	1,290
7790	11,47	1,341
88[illegible]0	12,06	1,407
10110	12,83	1,496
12500	13,97	1,630
15710	15,60	1,830
20450	18,57	2,160
23480	20,02	2,333
26820	21,50	2,508
27450	21,76	2,540
27820	22,07	2,568
28370	22,37	2,609
29270	22,65	2,643
30090	23,20	2,701
31270	23,77	2,772
32730	24,40	2,846
32820	24,32	2,837
33300	24,78	2,893
35800	26,29	3,070
36600	27,03	3,160
38900	28,56	3.334

La partie décimale des nombres de la troisième colonne représente l'accroissement pour cent de la résistance. Si l'on porte ces quantités en ordonnées et les valeurs correspondantes du champ en abscisses, on obtient une courbe qui se confond avec la courbe obtenue de la même manière au moyen des résultats donnés par la première spirale. Les deux échantillons de bismuth se comportaient donc de la même façon.

Pour déterminer l'influence de la température deux méthodes étaient employées. Dans l'une, la température était maintenue aussi constante que possible et la résistance du bismuth mesurée pour différentes valeurs du champ ; l'autre consistait à mesurer la résistance à des températures diverses, le champ conservant la même intensité. Cette dernière était la plus commode. Parmi les résultats qu'elle a fournis, nous indiquerons seulement les suivants qui correspondent à un champ d'intensité O, à un champ d'insité 22 700 CGS, (le plus grand qui ait été employé dans ces expériences), et à un champ d'intensité intermédiaire.

On voit que lorsque le champ est nul la résistance augmente en même temps que la

température et que c'est l'inverse qui se produit quand l'intensité du champ est considérable; pour les valeurs intermédiaires du champ la résistance commence par décroître, puis elle croît, quand la température augmente. Si, pour chaque valeur du champ, on porte la résistance en ordonnée et la température en abscisse, on obtient des courbes dont l'inclinaison par rapport à l'axe des abscisses varie d'une façon continue à mesure que l'intensité du champ augmente et qui s'écartent de la ligne droite d'autant plus fortement que le champ est plus intense. La forme de ces courbes indique que la résistance passe par un minimum pour des températures d'autant plus élevées que le champ est plus intense; cette température est de 35° environ pour un champ de 9600 C G S, de 50° pour 11 500 et de 85° pour 14 300; pour les autres valeurs du champ, la température du minimum de résistance est en dehors des limites de température des expériences.

TABLEAU

Champ = 0		11 500 C G S		22 700 C G S	
Temp. centig.	Résistance en ohms	Temp. centig.	Résistance en ohms	Temp. centig.	Résistance en ohms
0°	8,02	9°2	13.63	10°8	19,93
6,6	8,22	23,8	13.34	22,6	19,00
7,0	8,23	23,4	13,25	26,4	18,72
12,3	8,40	—	13,15	29,4	18,53
16,0	8,51	73,6	13,25	34.6	18,27
21,7	8,69	82,6	13,34	43,4	17,80
28,8	8.91			52,6	17.40
36,2	9,16			61,6	17,12
44,3	9,43			68,0	16,93
54,0	9,76			77.0	16,74
61,9	10,04			81,4	16,64
92,0	10,09				

Des résultats précédents l'auteur a pu déduire les courbes représentant la variation de la résistance du bismuth en fonction de l'intensité du champ pour des valeurs diverses de la température. Ces courbes ont la forme de branches d'hyperboles ayant leurs axes parallèles à l'axe des résistances et ces branches forment avec l'axe des intensités du champ des angles d'autant plus grands que la température est plus élevée; ces diverses branches se coupent deux à deux en des points différents.

L'auteur a également construit les courbes représentant la façon dont doivent varier la température et l'intensité du champ pour que la résistance conserve la même valeur. Ces courbes montrent que si, dans la mesure des champs magnétiques à l'aide de la résistance d'une spirale de platine, on ne tient pas compte de la température, on s'expose à des erreurs de plusieurs milliers d'unités dans cette mesure. M. Henderson en conclut la nécessité de l'adjonction d'un thermomètre sensible aux spirales des instruments destinés à la mesure des champs.

J. B.

La bouteille de Leyde employée comme accumulateur, par S.T Morland (¹).

« Depuis quelques années j'ai l'habitude de faire dans mes cours, l'expérience suivante : Je prends deux grandes bouteilles de Leyde et je réunis leurs armatures internes respectivement aux deux pôles d'une machine électrique de Toepler-Holtz de dix pouces, leurs armatures externes étant reliées l'une à l'autre. J'éloigne les deux pôles suffisamment pour que les étincelles ne puissent jaillir et je charge les deux bouteilles. Je donne ensuite une légère impulsion en arrière au plateau de la machine dont la courroie de transmission a été enlevée. Le mouvement continue de lui-même pendant plusieurs secondes et les bouteilles perdent graduellement leur charge, l'énergie à laquelle correspond cette charge se trouvant dépensée à faire tourner le plateau. Pour réussir cette expérience il est indispensable que les coussinets du plateau soient nouvellement nettoyés et huilés et que les balais ne donnent lieu à aucune résistance appréciable en frottant contre les boutons du plateau ».

J. B.

(¹) *The Physical Review*, t. I, p. 460, 1894.

CHRONIQUE

A la dernière réunion de l'*American Institute of Mining Engineers*, M. Fred H. Davis, a publié les résultats suivants d'un essai de rendement d'une transmission de force par l'électricité à 20 kilomètres de distance.

Essai du générateur

	Amp.	Volts	Watts
	—	—	—
Auto-Excitation..........	15.8	60	948
Excitation séparée.......	18.2	78	1.419
Résistance de l'armature, 1.6518 ohm...........			
Perte dans l'armature (RI2)			665
Perte totale dans la génératrice..			3.032
Débit....................	20	3.414	68.280
Rendement apparent de la génératrice............		95.56 o/o	

Essai du moteur

	Amp.	Volts	Watts
Auto-excitation..........	52	62.4	3.245
Résistance de l'armature 1.4 ohm...............			
Perte dans l'armature (R I2)			560
Perte totale dans le moteur			3.804
Courant..................	20	3.110	62.200
Rendement apparent du moteur...		93.88 o/o	

Le rendement final de la transmission, de l'arbre du moteur hydraulique à la partie du moteur, s'établit comme suit :

Essai n°	1	courant de	20	ampères	77.7 o/o
—	2	—	21	—	78.1 o/o
—	3	—	23	—	79.0 o/o
—	4	—	25	—	79.2 o/o

Chambre syndicale des industries électriques

RÉUNION DU MARDI 4 DÉCEMBRE 1894

Présidence de M. Harlé.

Le Président donne lecture d'une lettre de M. Michelet, libraire, de laquelle il ressort qu'il lui reste encore plus de 1,800 exemplaires des « Instructions de la Chambre syndicale concernant les installations d'électricité ; » c'est par suite d'un malentendu que l'on a cru ces Instructions épuisées.

Le Président rend compte ensuite des travaux de la Commission de propagande nommée dans la précédente séance. Des lettres ont été adressées à plusieurs Membres de notre Syndicat habitant la province, les priant de seconder la Chambre pour le recrutement de nouveanx adhérents dans leur région. Des lettres ont été écrites également à plusieurs ingénieurs ou industriels électriciens, habitant quelques-unes de nos principales villes de province, en leur demandant d'adhérer à notre Syndicat et de le seconder dans sa propagande comme Membres correspondants dans leur région. Ces appels ont été favorablement accueillis et presque toutes les personnes pressenties ont promis leur concours empressé.

La Chambre espère d'ailleurs que tous les membres du Syndicat voudront bien s'intéresser à ses efforts et la seconder en faisant parvenir à son Président de nouvelles demandes d'adhésion de la part d'industriels ou de commerçants électriciens.

Ainsi que la Chambre l'en avait chargé, le Président s'est mis en rapport avec les directeurs des secteurs parisiens pour l'étude en commun des questions soulevées par le nouveau projet de règlement de la Ville de Paris, concernant les installations d'éclairage électrique.

Plusieurs réunions ont eu lieu auxquelles ont assisté, outre les directeurs des secteurs ou leurs représentants, plusieurs membres de la Chambre syndicale : MM. Beau, Cance, Harlé, Hillairet, Mildé et Picou.

Le projet de réglementation élaboré par le service de l'Eclairage de la Ville de Paris, a été l'objet d'un examen approfondi. Il soulève des objections graves, aussi bien au point de vue des intérêts généraux de l'industrie électrique qu'au point de vue des intérêts spéciaux des exploitations de lumière qui y sont plus particulièrement visées.

Le projet comprend 21 articles répartis en 4 chapitres comme il suit :

CHAPITRE Ier. — *Conditions générales*

Article premier. — Nécessité d'une autorisation pour l'emploi d'appareils et de canalisations électriques.

Art. 2. — Visite et réception des installations nouvelles.

Art. 3. — Visite des installations en service.

Art. 4. — Avis à donner en cas d'accident.

Art. 5. — Répression des contraventions.

Chapitre ii. — *Choix et qualité des matériaux*

Art. 6. — Conductibilité spécifique des câbles et fils.

Art. 7. — Section des conducteurs.

Art. 8. — Isolation et protection mécanique des câbles et fils.

Art. 9. — Coupe-circuits.

Art. 10. — Interrupteurs.

Chapitre iii. — *Conditions de pose*

Art. 11. — Branchements particuliers.

Art. 12. — Installations de dynamos réceptrices, de transformateurs et d'accumulateurs.

Art. 13. — Compteurs.

Art. 14. — Tableaux et circuits de distributions.

Art. 15. — Pose des câbles et fils.

Art. 16. — Epissures.

Art. 17. — Moulures.

Art. 18. — Appareillage.

Art. 19. — Installation des lampes à arc.

Art. 20. — Règles spéciales aux installations mixtes de gaz et d'électricité.

Chapitre iv. — *Conditions d'isolement*

Art. 21. — Mode d'essai et détermination de la valeur de l'isolement.

Les prescriptions du chapitre 1er, si elles étaient appliquées, auraient pour effet d'imposer, à toutes les personnes faisant usage de la lumière ou de la force électriques, des obligations nouvelles non prévues par les lois, et aux entreprises des secteurs d'éclairage et de distribution d'électricité, des sujétions non prévues dans leurs contrats de concession et d'où découleraient, pour ces entreprises, des conséquences onéreuses.

D'une manière générale, ces prescriptions sont de nature à nuire aux développements des applications de l'électricité par les entraves qu'elles y apportent et par les pénalités et difficultés administratives dont se trouvent menacées les personnes qui désireraient faire usage d'électricité.

Il ne semble pas d'ailleurs que la Ville de Paris ait les pouvoirs nécessaires pour imposer aux particuliers l'obligation d'autorisations préalables.

M. Hillairet trouve ce projet inadmissible.

La Chambre charge son Président d'appuyer les observations de la Commission d'examen et d'insister sur les motifs qui l'amènent à protester contre le projet d'une règlementation officielle.

La Chambre se croit d'autant plus fondée à prendre cette attitude qu'elle n'a cessé de faire tous ses efforts pour améliorer les dispositions en usage dans les installations électriques.

Elle a la satisfaction de constater que ses conseils sont de plus en plus écoutés, que les *Instructions génerales* qu'elle a rédigées, que le *Bureau de Contrôle* qu'elle a créé à Paris, ont puissamment contribué aux progrès réalisés dans cette branche d'industrie, au point de vue des garanties de sécurité et de la bonne exécution.

La loi concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques et téléphoniques a été votée en deuxième lecture par la Chambre des Députés.

(A suivre.)

Dijon. — Les habitants d'un certain nombre de rues de Dijon viennent d'adresser à la municipalité de cette ville une pétition demandant l'établissement d'une ligne de tramways électriques reliant leurs quartiers à la grande gare de Dijon-Ville et à la gare des tramways départementaux, en passant par la rue de l'Arquebuse.

La construction de ce tronçon de 600 mètres de longueur, ne nécessitant aucun remaniement de la chaussée, peut être exécutée dans d'excellentes conditions de bon marché.

La nombreuse population de ces quartiers, avec leurs usines employant un personnel considérable, assurent à ce tramway un revenu rémunérateur et certain.

Limoges. — Le conseil municipaux a chargé MM. Prancez, Maître et Juppont d'examiner le projet d'éclairage électrique de MM. Laroudie, et Rougerie. Cette commission vient de déposer le rapport intéressant qui suit.

« La force motrice sera fournie par une forte chute d'eau, obtenue au moyen d'un barrage en maçonnerie élevé en travers de la gorge profonde du Thaurion, à Châtelus-le-Marcheix (Creuse).

Les eaux seraient élevées de 17 mètres audessus du lit actuel de la rivière et formeraient

une retenue d'environ 10 hectares 1/2 de superficie.

A la sortie de cette retenue, les eaux s'écouleront dans un canal pratiqué sur les flancs de la montagne de la rive droite et, après un parcours de 2,736 mètres, avoir traversé deux souterrains au-dessous du village de Châtelus, seront reçues dans un réservoir de distribution plaeé à la partie *terminus* du canal.

Deux grosses conduites de 230 mètres de long les amèneront à l'usine ou seront installées les turbines et les dynamos.

Le courant fourni par ces machines sera, au moyen de câbles aériens, transmis à Limoges où il servira à la production de la lumière et de la force motrice.

La distance de l'usine de Châtelus à Limoges est approximativement de 40 kilomètres.

Des mesures seront prises pour que le Taurion continue à être flottable en amont de l'usine.

On peut compter, en basses eaux, sur une chute nette de 52 mètres de hauteur dans ces conditions, la force motrice en chevaux, disponible sur l'arbre des turbines, sera, à l'étiage, de 1,248 chevaux.

En temps ordinaire, cette force pourra facilement atteindre 4,080 chevaux.

MM. Laroudie et Rougerie estiment que la consommation probable, en été, c'est-à-dire au moment de la période des basses eaux, est donnée par la fourniture du courant à 2,000 lampes à la ville, 1,000 aux cercles et cafés, 12,000 aux magasins et particuliers, 4 voitures de tramways 500 chevaux au compteur.

Des calculs effectués par la commission, il résulte que le Taurion a un débit suffisant à l'étiage pour produire avec la chute à créer et suivant les plans présentés une force motrice suffisante pour réaliser ce programme.

En hiver, alors que la consommation atteindra son maximum, si on se place dans l hypothèse invraisemblable de l'insuffisance du débit du Taurion, les turbines pourront puiser dans l'immense réservoir une assez grande quantité d'eau pour que le service soit assuré.

La commission pense qu'il est nécessaire que le transport de la force soit effectué au moyen de deux systèmes de câbles et de dynamos séparés l'un pour l'éclairage, l'autre pour les moteurs.

Les potaux supportant les câbles devront être munis d'isolateurs blindés et d'une frise circulaire en pointes d'acier placée à une certaine distance du dernier isolateur pour empêcher de grimper auxdits poteaux.

On conçoit, en effet, combien seraient regrettables les accidents qui se produiraient si ces précautions n'étaient pas prises.

La commission cite des exemples de grandes installations électriques se rapprochant du programme que MM. Laroudie et Rougerie se proposent de réaliser, entre autres celle de Tivoli à Rome avec un transport de 5,000 volts alternatifs de 2,000 chevaux, sur une longueur de 28 kilomètres, laquelle installation se rapproche beaucoup de l'usine projetée.

A Pomona (Californie), la Compagnie Westinghousse (1892) a installé à 10,000 volts un transport à 45 kilomètres.

De récentes expériences faites entre Francfort et Lauffen (transport électrique de 120 chevaux à 175 kilomètres) semblent indiquer que la pratique peut tendre à dépasser la limite de tension de 10,000 volts.

En résumé, le projet de MM. Laroudie et Rougerie peut être exécuté en adoptant comme limite la tension de 10,000 volts.

MM. Francez et Maître estiment qu'il est à désirer que l'usine de distribution soit placée en dehors du périmètre de l'octroi.

La canalisation aérienne offre bien des dangers par suite des contacts probables entre les individus et les fils à 2,000 volts. Ces contacts sont mortels.

projet soumis, il est possible d organiser, pour la totalité de l'éclairage municipal de Limoges un système électrique présentant les garanties d'un bon fonctionnement et de sécurité de marche que l'on est en droit d'exiger pour un service public à Limoges

A l'appui de cette affirmation, on peut citer l'exemple des villes de Dieulefit, de Valréas, de Rome, d'Orégon-City, des nombreuses installations suisses, les expériences de Lauffen-Francfort.

La malveillance et la cupidité auront peu d'action à exercer sur une ligne qui se protège elle-même par le potentiel élevé auquel elle se trouvera forcément portée.

Les rails des chemins de fer, les becs de gaz, etc., sont ainsi placés sous la sauvegarde du publics, et les accidents ou les dégâts sont peu fréquents.

Quant aux intempéries atmosphériques, il existe des moyens susceptibles de protéger la ligne électrique contre leur influence.

En resumé, le projet de MM. Laroudie et Rougerie ne présente, ainsi qu'on a pu s'en convaincre, aucune difficulté insurmontable. Il faut donc espérer que le conseil municipal prendra les mesures nécessaires pour que l'intéressante question de l'électricité à Limoges ait, dans le plus court délai possible, une solution conforme aux vœux de tous nos concitoyens. »

D'un autre côté, la fréquence des incendies peut amener la rupture des fils passant contre ou au-dessus de l'immeuble incendié, et, par suite la mort des personnes qui prendront contact avec ces fils et l'arrêt de l'éclairage et de la force dans une partie de la ville.

Il serait bon, par conséquent, que la canalisation souterraine soit employée pour la plus grande partie de la ville, en laissant seulement installer dans les quartiers éloignés une canalisation aérienne à tension de 200 volts.

En ce qui concerne les tramways, la canalisation aérienne à 500 volts, avec retour par le sol, est couramment pratiquée.

Les tramways de Marseille offrent à ce sujet d'excellentes régles à suivre.

Les tarifs proposés pour la vente de la lumière sont les plus bas qui aient été pratiqués en France.

On peut s'abonner à forfait ou au compteur.

Au compteur : 0 fr. 10 les 100 volts-heure (?) avec minimum de 2/50 par mois et par lampe de 10 bougies.

A forfait :	Pour 10 bougies		Pour 16 bougies	
De la nuit à 10 h. du soir.	30	»	45	»
— à 1 h du matin	45	»	70	»
— au jour.......	70	»	100	»

En ce qui concerne la force motrice, le mode à forfait est dans la nature des choses, mais il serait à désirer qu'il y eût des abonnements au compteur avec minimum de consommation.

Le tarif proposé est ainsi fixé par cheval et par an :

Au-desssus d'un cheval, 600 fr.; de 1 à 2 chevaux, 500 fr.; de 2 à 3 chevaux, 450 fr.; de 3 à 5 chevaux, 400 fr.; de 5 à 10 chevaux, 350 fr.; de 10 à 20 chevaux, 300 fr.; de 20 à 30 chevaux, 250 fr.; de 50 à .. chevaux, 200 fr.

Il y a dans ce prix un avantage en faveur des moteurs électriques sur les moteurs à vapeur ou à gaz.

Comme le font remarquer MM. Francez et Maître, le transport de l'électricité à 40 kilomètres de distance présente bien des aléas (rupture des câbles, soit par le fait des intempéries des saisons ou tentatives de malfaiteurs), mais il fant considérer que ce qui donne de bons résultats ailleurs peut en donner également de bons à Limoges, et, comme le dit M. Jupont, on peut très affirmativement répondre que dans les conditions du

Montbozon (*Haute-Saône*). — Une société pour l'éclairage électrique de cette ville vient de terminer son installation qui doit fonctionner actuellement.

Les particuliers seulement profiteront de cette innovation, la municipalité n'ayant pas voulu remplacer les lumignons fumeux qui ornent ses rues.

Périgueux. — La Société Laroudie et Rougerie qui vient d'obtenir de la ville de Limoges une concession pour les tramways et l'éclairage électriques, doit faire incessamment une demande à la ville de Périgueux pour obtenir une concession de même nature. Cette nouvelle Société prendrait sa force motrice aux forges de la Cité, exploitées par MM. Puthaud et Dulac.

Saint-Léonard (*Haute-Vienne*). — Cette petite ville vient d'être pourvue d'une distribution d'électricité. L'installation utilise une chute d'eau de 1,20 m. de hauteur, située sur la Vienne, à Beaufort, à une distance d'environ 2 kilomètres de la ville. L'usine comprend une turbine de 45 chevaux actionnant par courroie un alternateur Thomson-Houston hypercompoundé, de 30 kilowatts, donnant une différence de potentiel de 2,000 volts. Les deux circuits principaux, l'un alimentant le réseau municipal, l'autre celui des abonnés, partent d'un poste de transformateurs installé à la mairie.

Le Gérant : L. DENNERY.

Imprimerie ALCAN-LEVY, 24, rue Chauchat, Paris

2e Année | Samedi 12 Janvier 1895 | N° 2

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

REVUE DE L'ÉLECTRICITE

3, RUE RACINE, PARIS

Directeur P. H. Ledeboer, Docteur ès-sciences

POUVOIR ECLAIRANT

DES PROJECTEURS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE([1])

CHAPITRE IV

Essais des réflecteurs de la lumière électrique par la photographie.

Actuellement, les appareils électriques militaires employés pour l'éclairage à fortes distances sont munis des réflecteurs en verre argenté qui ont, en principe, des avantages considérables sur les réfracteurs et réflecteurs métalliques jadis employés.

Le défaut des réflecteurs-réfracteurs en verre de Mangin ([2]), employés en France et en partie dans quelques autres Etats, consiste dans l'impossibilité de construire un pareil système optique lorsque la distance focale est inférieure aux 2/3 du diamètre du réflecteur. Les réflecteurs sphériques en verre argenté employés en Angleterre, et même les systèmes composés de l'auteur, employés en Russie, ont le défaut de produire une aberration considérable et ne peuvent pas non plus avoir une distance focale inférieure à 5/9 du diamètre du réflecteur. Les réflecteurs paraboliques en verre, de Schuckert, employés en Allemagne et dans quelques autres Etats, possèdent une distance focale égale environ à 1/3 du diamètre du réflecteur ; le système à anneaux-ménisques, de Tchikoleff, perfectionné par Siemens, est le seul qui puisse complètement soutenir la concurrence avec celui de Schuckert. Mais la fabrication de ce système s'est arrêtée, par suite de la construction défectueuse d'un pareil réflecteur à l'usine de Ratenau, qui ne disposait pas de tout les accessoires nécessaires. De sorte que c'est encore le réflecteur de Schuckert qui reste l'appareil d'éclairage électrique le plus puissant, pourvu que *sa surface soit exécutée avec une régularité suffisante.*

La régularité des surfaces sphériques des projecteurs Mangin est garantie par la méthode même de polissage des surfaces sphériques, tandis que la régularité des surfaces paraboliques dépend de l'exactitude des tours, de l'art de l'ouvrier et du contrôle. L'auteur a acquis, par expérience, la conviction que les réflecteurs en verre de Schuckert n'atteignent pas cette régularité et que tous s'éloignent plus ou moins du caractère parabolique.

([1]) *L'Éclairage électrique* du 5 Janvier 1895.
([2]) Voir la description dans l'ouvrage de M. V.-J. Tchikoleff, *Eclairage Electrique* 1885.

Comme tout l'avantage de ce réflecteur peut s'évanouir si ses surfaces antérieure et postérieure ne sont pas suffisamment régulières, l'auteur a cherché des moyens pratiques et sûrs de contrôler la régularité de ces surfaces.

Il a eu d'abord l'idée d'employer un sphéromètre de grandes dimensions, mais il y a renoncé en raison du prix trop élevé d'un appareil de ce genre, et parce que sa construction, d'ailleurs, pouvait être mal exécutée pour la première fois. En outre, on ne pouvait contrôler au moyen du sphéromètre que la surface antérieure du verre ; quant à la surface postérieure, le contrôle ne pouvait se faire qu'à l'usine même, avant que le verre fût argenté et enduit d'une couche préservatrice de papier.

L'auteur a eu ensuite l'idée de contrôler les réflecteurs par une méthode optique, en plaçant au foyer un point lumineux et en étudiant par un cathétomètre l'image de ce point réfléchie à différents points du réflecteur. Mais cette méthode demandait la construction d'une enveloppe en bois pour le projecteur, enveloppe qui pouvait tourner en même temps que ce dernier autour d'un axe horizontal ; le reflecteur aurait dû alors être placé dans son enveloppe avec une exactitude suffisante pour que son axe optique coïncidât exactement avec l'axe de rotation de l'enveloppe. En dehors de cette difficulté, insurmontable dans la pratique, tous les accessoires de cette méthode sont très coûteux.

Enfin, les deux méthodes ont ce défaut, que la durée du contrôle est très grande et que tous les résultats sont basés sur une impression subjective qui ne laisse aucune trace probante.

L'auteur a imaginé une autre méthode de contrôle qui consiste à photographier les images, dans le projecteur, d'écrans blancs sur lesquels sont tracés tantôt des traits noirs parallèles, tantôt des traits noirs se croisant sous un angle droit.

Les résultats ainsi obtenus peuvent encore être vérifiés en photographiant le faisceau lumineux de l'arc voltaïque réfléchi par le projecteur sur les écrans blancs en question.

La première opération se fait de la manière suivante : on enlève le réflecteur de sa lanterne ; on place devant lui, à une distance de 1 mètre à 1^{m}5, un écran blanc sur lequel sont tracés, en lignes noires de 5 mm. de largeur, des petits carrés de 15 mm. de côté ou des traits noirs parallèles, espacés de 15 mm.

On pratique au centre de l'écran une ouverture carrée de 20 cm. de côté, à travers laquelle on fait la photographie de l'image du réseau et des traits parallèles.

L'écran doit dépasser de 30 à 35 o/o au moins, en hauteur et en largeur, le diamètre du projecteur.

Lors de la mise au point, il faut tâcher d'arriver à ce que l'image du réseau tracé sur l'écran couvre toute la surface du miroir sur le verre dépoli de la chambre noire.

Le contrôle des réflecteurs s'opère de la manière suivante :

1. — On applique à la surface du miroir, dans tous les azimuts, un modèle pour s'assurer qu'en général la courbe extérieure de la surface ne s'éloigne pas de la parabole ; l'uniformité de l'épaisseur de la couche de verre jugée à l'œil permettra d'apprécier approximativement si les deux surfaces, intérieure et extérieure, sont bien parallèles.

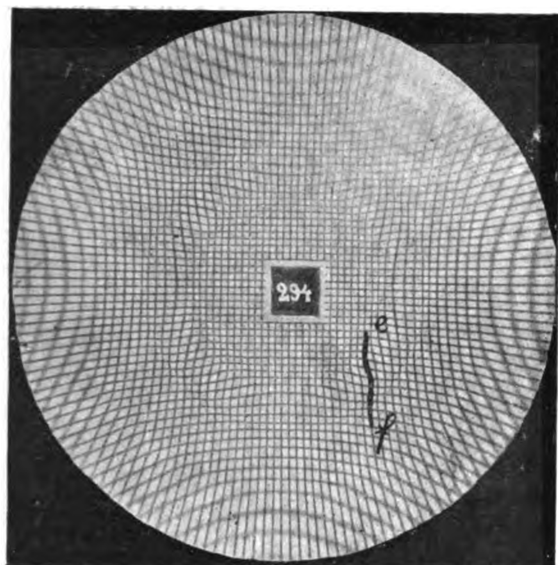
2. — On photographie l'image de l'écran sur lequel sont tracées les lignes parallèles ; ce qui permettra de reconnaître toutes les petites incorrections de la surface du réflecteur.

3. — On photographie l'image de l'écran portant le réseau : cette image indique mieux les irrégularités du centre du réflecteur, tandis que la précédente donne mieux celles des extrémités.

4. — On photographie les projections de la lumière électrique réfléchies par le réflecteur sur l'écran ; les incorrections graves de la surface parabolique donnent lieu à des cercles et à des taches sombres ; quant aux petites incorrections, invisibles à l'œil, elles deviennent manifestes par des procédés photométriques qui augmentent ordinairement les contrastes

entre les endroits clairs et les endroits sombres.

Les figures 1 à 7 reproduisent les images obtenues par cette méthode.



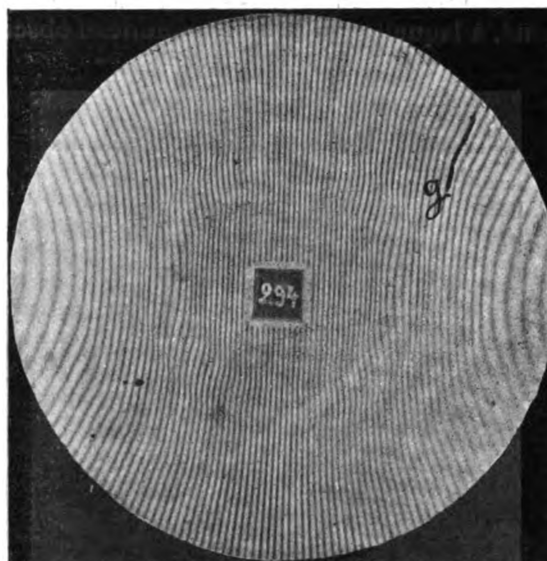
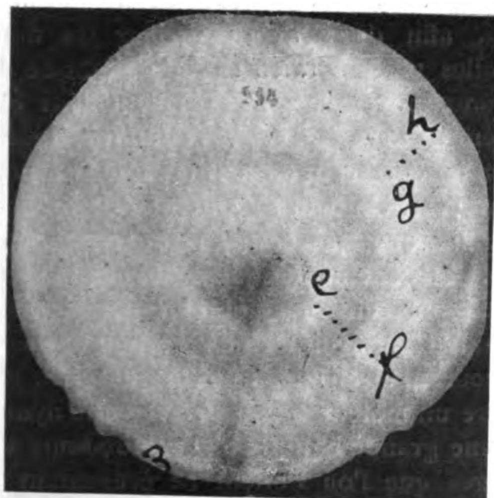


Fig. 1 et 2 — Essai photographique d'un projecteur Schuckert.

L'étude de ces figures nous amène aux conclusions suivantes :

Ces images décèlent des irrégularités qui restent inaperçues lorsqu'on applique le modèle.



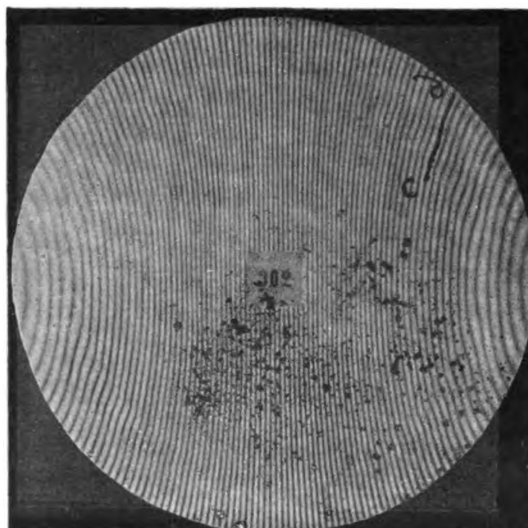


Fig. 3 et 4. — Essai photographique d'un projecteur Schuckert

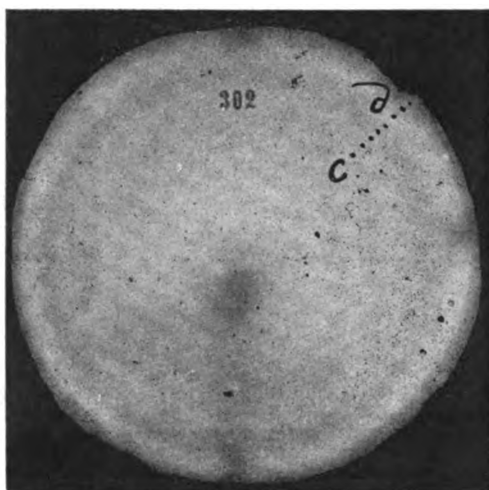
Tous les réflecteurs Schuckert ont de petites irrégularités aux extrémités et au centre; mais ces dernières n'ont pas d'importance, puisque la partie centrale du réflecteur reçoit l'ombre du charbon négatif et qu'elle ne prend pas part à l'éclairage de l'écran.

Toutes les irrégularités des réflecteurs sont presque toujours distribuées concentriquement sur la surface de ces derniers.

A toutes les irrégularités dans les images des écrans correspondent des anneaux obscurs

et clairs dans les faisceaux projetés, comme l'indiquent les photographies de ces faisceaux (fig. 3, 5 et 7).

Ainsi, sur la photographie n° 294 (fig. 3) de l'image de l'écran, on voit une grande irrégularité, à laquelle correspond un anneau obscur



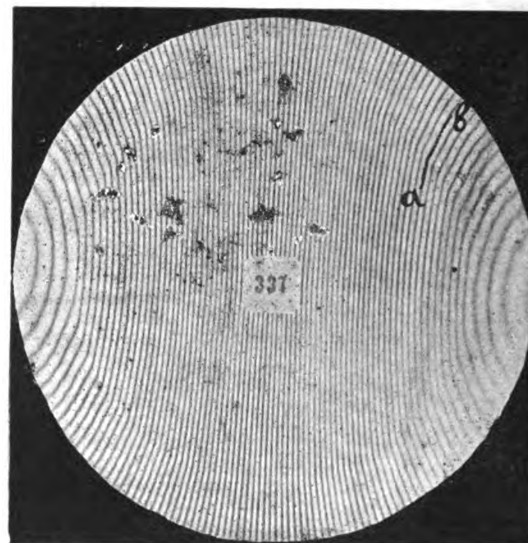


Fig. 5 et 6. — Essai photographique d'un projecteur Schuckert.

très prononcé sur la photographie du faisceau ; de même la photographie n° 337 (fig. 7) montre une grande irrégularité à l'extrémité

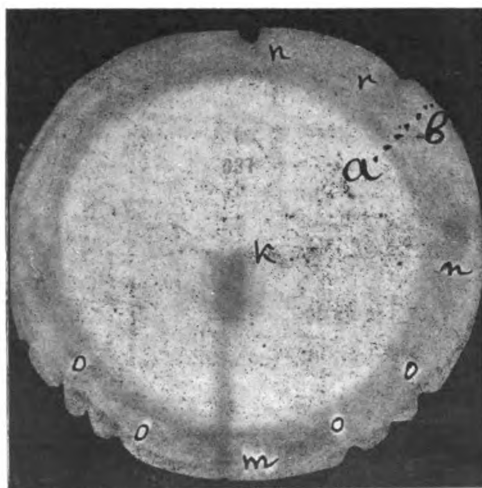


Fig. 7. — Essai photographique d'un projecteur Schuckert

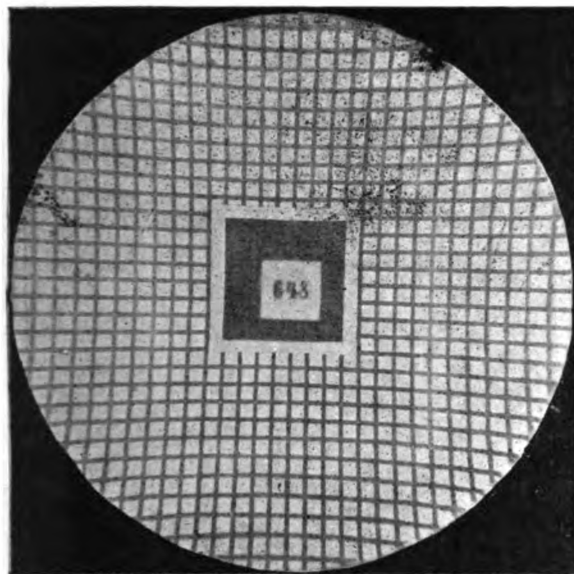
et une tache annulaire correspondante à l'extrémité du faisceau.

La méthode photographique de contrôle des réflecteurs sera acceptée aussi par la maison Schuckert ; avant la livraison des réflecteurs, on enverra à celui qui sera chargé de les recevoir leurs photographies, exécutées par la méthode indiquée. L'agent de réception aura ainsi les moyens de contrôler la bonne qualité des réflecteurs et de donner son avis en toute connaissance de cause.

On peut aussi faire des photographies avec les surfaces polies vitreuses avant leur argenture, afin de pouvoir corriger les défauts qu'elles présenteraient. Cette méthode donnera un moyen de contrôler facilement et rapidement toutes les surfaces du projecteur ; on aura un document de contrôle que l'on pourra conserver. On peut se contenter de ne photographier que les écrans, puisque ces images sont plus concluantes que celles des faisceaux. Il est plus difficile d'obtenir ces dernières, puisqu'il faut avoir à sa disposition une source de courant électrique très considérable, c'est-à-dire un moteur à vapeur avec une dynamo, ou une grande batterie d'accumulateurs et les images que l'on obtient ne présentent rien que l'on n'aurait pu déjà apercevoir sur les images de l'écran.

La photographie des projections du faisceau ne doit être faite qu'en cas de doute, ou pour convaincre les fournisseurs.

La facilité et l'exactitude du contrôle des réflecteurs par les constructeurs et par les acheteurs amènera sans doute leur perfection, ce qui permettra d'être encore plus sévère pour la réception de ces appareils et d'éliminer ceux qui sont irréguliers aux extrémités, défauts qu'on est bien forcé de tolérer aujourd'hui.



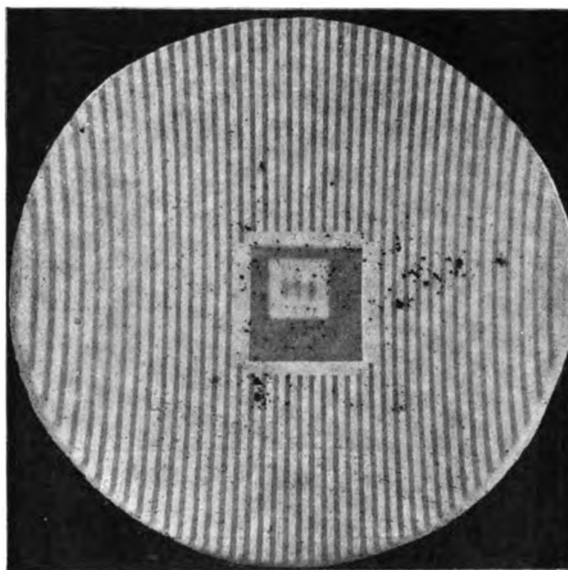
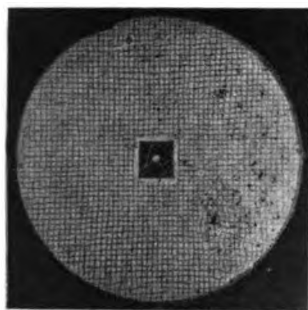


Fig. 8 et 9. — Essai photographique d'un projecteur Mangin.

Les figures 8 et 9 représentent les images des mêmes réseaux dans le projecteur de Mangin de 90 cm. de diamètre et de 60 cm. de distance focale; les figures 10, 11 et 12 montrent les images des mêmes réseaux dans le réflecteur en verre non poli de Vrobleosky de 60 cm. de diamètre et de 30 cm. de distance focale, ainsi que la projection du faisceau réfléchi par lui.



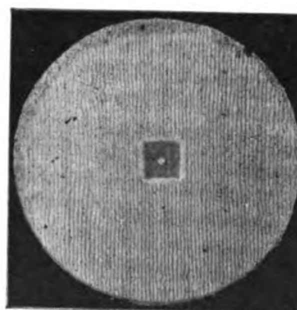


Fig. 10 et 11. — Essai photographique d'un appareil Vrobleosky.

Les lignes apparaissent plus larges dans le projecteur Mangin, parce que sa distance focale est deux fois plus petite que celle du Schuckert et du Vrobleosky; dans les deux derniers les distances focales sont égales entre elles.

Sur toutes les photographies des réseaux nous avons indiqué les endroits mauvais des réflecteurs par des lignes plus grosses, et sur les images correspondantes des faisceaux nous avons marqué par une ligne pointillée et par des lettres l'influence qu'exercent sur ces images les vices correspondants des réflecteurs. Ainsi, on voit sur la figure 3 des anneaux obscurs *ef* et *gh*, qui correspondent aux incorrections *ef* et *gh* du réflecteur 294 sur les

figures 1 et 2; l'anneau obscur *cd* dans le faisceau du réflecteur 302 (fig. 5) correspond aux irrégularités *cd* de l'extrémité du réflecteur (fig. 4); un anneau obscur et large à l'extrémité du faisceau du réflecteur 327, *ab*, correspond à la rupture brusque et aux irrégularités de l'extrémité du réflecteur 337, *ab* (fig. 6).

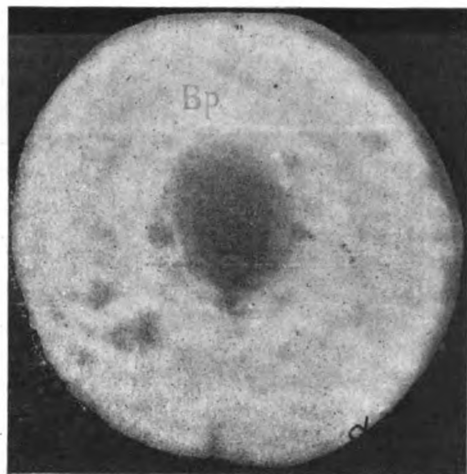


Fig 12.—Essai photographique d'un projecteur Vrobleosky

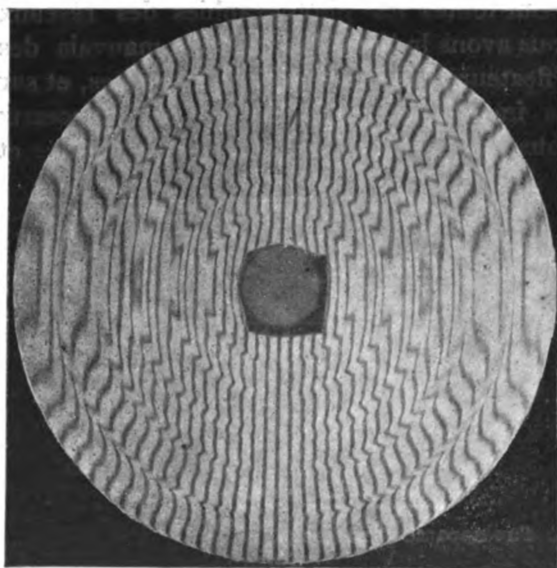


Fig. 13.—Essai photographique d'un projecteur Schuckert.

Il faut observer qu'il y a inévitablement des ombres sur les projections des faisceaux : elles sont toutes marquées sur la figure 7. Ainsi *km* appartient à l'armature du charbon négatif de la lampe et au soutien de cette armature;

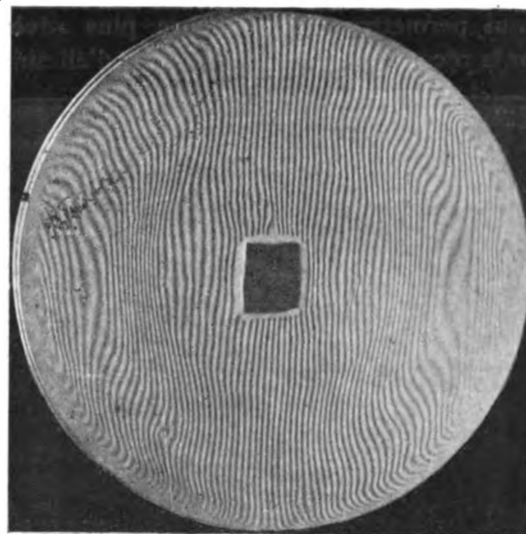


Fig. 14. — Essai photographique d'un projecteur parabolique métallique.

n, *n*, *n*, à l'ombre des appareils d'observation qui se trouvent derrière l'arc voltaïque et qui sont fixés à l'intérieur de l'enveloppe du projecteur; *o*,*o* une triple fenêtre de chaque côté,

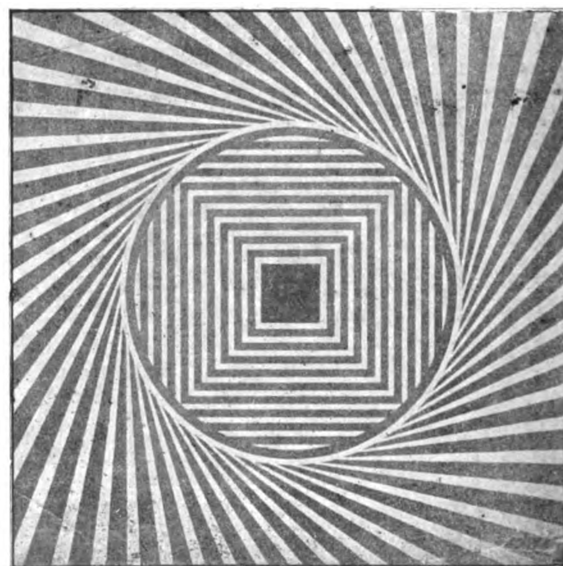


Fig. 15. — Autre méthode d'essai photographique des projections.

située au-dessus des trous de ventilation, pratiqués dans l'enveloppe.

La figure 13 se rapporte à un réflecteur parabolique en verre très mal réussi.

La figure 14 est fournie par un réflecteur parabolique métallique fait au marteau et poli ensuite.

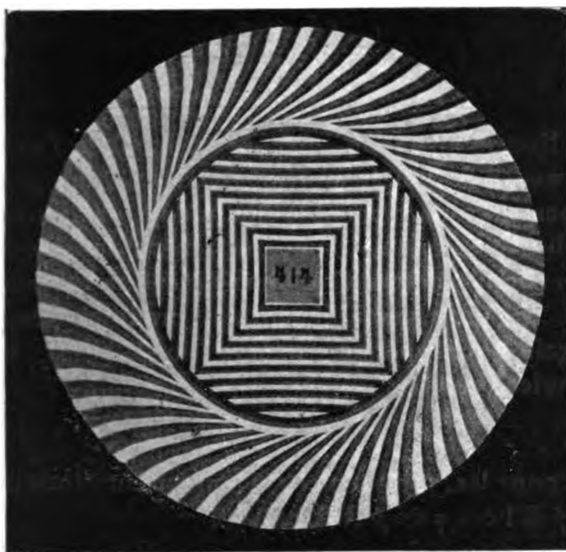


Fig. 16. — Détail des ombres.

On a fait, entre autres, une tentative de photographie des images de l'écran avec lignes tangentes de la figure 15.

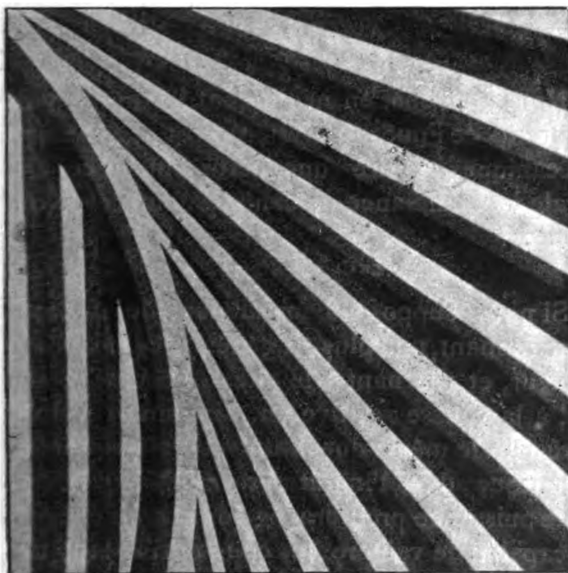


Fig. 17. — Détail des ombres.

Une pareille figure présente cet avantage que toutes les lignes sont symétriquement et également défigurées, tandis que sur les figures 2, 4 et 6, les lignes situées près du diamètre ne sont pas visiblement déformées.

La figure 16 montre l'image de l'écran dans un miroir parabolique en verre; on voit et plus encore sur la figure 17, qui reproduit la

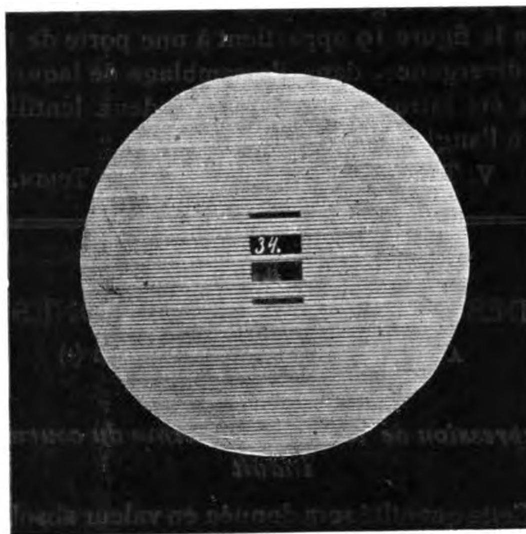


Fig. 18. — Essai photographique d'une porte divergente.

photographie d'une région du miroir prise avec un téléobjectif, que les tranches noires sont composées de trois ombres. La plus

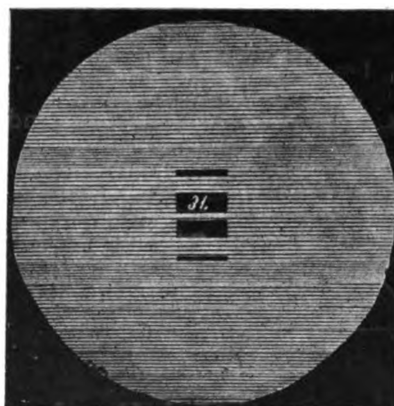


Fig. 19. — Essai photographique d'une porte divergente.

claire est due à la réflexion sur la surface antérieure du verre; la suivante est due à la réflexion sur la couche d'argent et, enfin, la plus obscure à la coïncidence de ces deux ombres.

Bien que cette méthode indique simultané-

ment les irrégularirés des deux surfaces, antérieure et postérieure, du verre, elle est moins bonne et ne s'emploie que rarement.

La figure 18 montre l'application de la méthode photographique à la vérification des portes avec lentilles divergentes ; elle concerne une porte régulièrement assemblée ; tandis que la figure 19 appartient à une porte de 15° de divergence, dans l'assemblage de laquelle ont été introduites par erreur deux lentilles *aa* à l'angle de divergence de 6°.

V. Tchikoleff, R. Klasson et V. Turin.

THÉORIE ET CALCUL
DES MOTEURS ASYNCHRONES
A CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT (1)

Expression de la valeur maxima du courant induit

Cette quantité sera donnée en valeur absolue par

$$I = \frac{mF}{R} n' \frac{1}{1+\sin^2\varphi} \cos\varphi$$

Mais

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{mpL}{B}$$

Donc

$$I = \frac{F\, n'}{pL} \frac{1}{1+\sin^2\varphi} \sin\varphi$$

si φ est pris, ainsi que nous l'avons indiqué

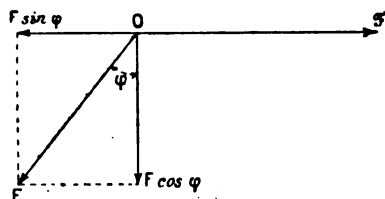


Fig. 6.

plus haut, comme variable indépendante, le courant induit sera exprimé en fonction d'un coefficient numérique $\frac{\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$ et d'un autre coefficient $\frac{n'F}{pL}$, dépendant des dimensions du moteur, coefficient qui peut ainsi s'écrire :

$$\frac{4\pi \frac{n}{\gamma} n'I}{p 4\pi \frac{n'^2}{\gamma}} = \frac{nI}{pn'}$$

Donc

$$I = \frac{nI}{n'p} \frac{\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

Couple moteur

Nous pouvons maintenant rechercher l'expression du couple moteur. A cet effet supposons pour un moment le flux inducteur immobilisé et le moteur lamé en génératrice avec un couple moteur C et tournanr à une vitesse *m*. La puissance électrique produite sera égale pour chaque système de bobines à angles droits à

$$EI\cos\varphi \text{ ou } 2\frac{RI^2}{2} = RI^2$$

et pour les, p_1 systèmes qui composent l'induit à $p\,EI\cos\varphi$ ou $p\,RI^2$.

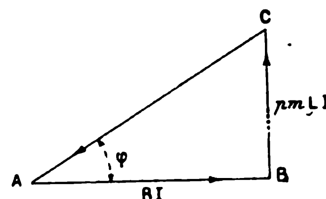


Fig. 7.

Nous pouvons, en négligeant les pertes par courants de Foucault, hystérésis et frottements mécaniques, écrire que cette puissance est égale à la puissance mécanique fournie et on aura :

$$2\pi C m = pRI^2$$

Si nous supposons maintenant le moteur fonctionnant, non plus en génératrice, mais en moteur, et tournant à la vitesse absolue, β-*m*, ou, à la vitesse relative *m*, le courant induit I, restera le même que tantôt et la puissance électrique dans l'induit sera égale à $p\,RI^2$: cette puissance produira également un couple C capable de vaincre le couple résistant de même valeur mais de sens opposé.

On déduira donc :

$$C = \frac{pRI^2}{2\pi m}$$

(1) L'*Éclairage Électrique* du 5 janvier 1895.

Il faut remarquer que ce couple ne représente pas le couple utile, mais ce dernier augmenté du couple équivalent aux courants de Foucault, hystérésis et frottements mécaniques.

Nous pouvons donc écrire :

$$C = \frac{pR}{2\pi m} \frac{n^2 I^2}{p^2 n'^2} \frac{\sin^2 \varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

mais

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p\, m L}{R}$$

d'où

$$\frac{R}{m} = \frac{pL}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{p \frac{4\pi n'^2}{\gamma}}{\operatorname{tg} \varphi}$$

et

$$C = \frac{n^2 I^2}{\gamma} \frac{\sin^2 \varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

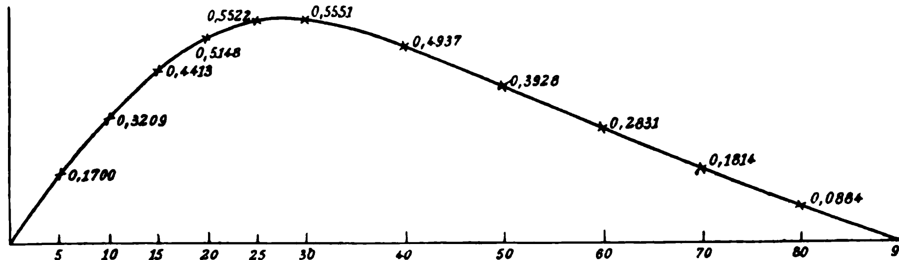


Fig. 8.

Les valeurs de C seront donc exprimées en fonction d'un coefficient numérique $\frac{\sin^2\varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$ et d'un antre $\frac{n^2 I}{\Upsilon}$ dépendant des dimensions du moteur.

On peut dresser la courbe des coefficients numériques, courbe qui serait une des caractéristiques du moteur si ce dernier était alimenté sous courant constant (fig. 8).

Nous verrons plus loin que cette courbe prend une allure différente lorsque l'on prend comme abcisses les vitesses du moteur.

Induction mutuelle du circuit induit sur le circuit inducteur.

L'effet de l'induction mutuelle du circuit induit sur le circuit inducteur sera le même que celui produit par la rotation du flux F au travers des bobines inductrices, le cas est identique au précédent : nous avons en effet dans l'induit deux courants i_1 et i_2 décalés de 90°, donnant naissance à un flux tournant F. La force électromotrice produite par la rotation de ce flux sera donc égale à

$$e = -\frac{nd\,(-F\cos(\beta t - \varphi))}{dt} = -n\beta F \sin(\beta t - \varphi)$$

et sa valeur absolue maxima sera $n\, \beta\, F$ ou $p\, M\, \beta\, I$

Les forces électromotrices agissant dans le circuit inducteur seront donc :

1° la force électromotrice absorbée par la résistance R.

Mais il faut remarquer que le flux F joue maintenant par rapport au flux F le même rôle que ce dernier jouait par rapport au premier, c'est-à-dire que le flux F produira un flux $F \sin\varphi$ antagoniste au flux F et que le flux efficace ne sera plus F ou p M I, mais par le même raisonnement que plus haut.

$$\frac{pMI}{1+\sin^2\varphi}$$

La force électromotrice d'induction mutuelle sera donc

$$\frac{pM\beta I}{1+\sin^2\varphi}$$

2° La force électromotrice de self induction dont la valeur maxima est de $\beta\, L\, I$.

3° La force électromotrice d'induction mutuel'e dont la valeur maxima est

$$\frac{p\beta MI}{1+\sin^2\varphi}$$

Si nous reprenons le polygone A B C des forces électromotrices du circuit induit, il est évident que la direction du courant inducteur I sera perpendiculaire et en avance sur la force électromotrice m M I auquel il donne naissance ; soit A D représentant en grandeur et

direction la force électromotrice $R\ I$, A E la force électromotrice de self Induction $\beta\ L\ I$ et E F, la force électromotrice d'induction mutuelle $\frac{p\ M\ \beta\ I}{1+\sin^2\varphi}$; cette dernière sera évidemment perpendiculaire et en retard sur la direction du courant I qui lui donne naissance ; la droite A F représentera en grandeur et direction la force électromotrice résultante agissant dans le circuit inducteur ou la force électromotrice de la source(fig. 11).

L'angle F A D sera l'angle de décalage du courant sur la force électromotrice.

Nous avons déterminé les courbes des valeurs du courant induit, et du couple moteur en fonction de coefficients numériques et de coefficients indéterminés, par rapport à l'angle de décallage φ. Cependant ces deux éléments ne sont pas les seuls intéressants à connaître.

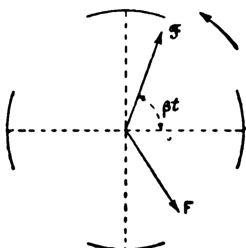


Fig. 9.

Il y a aussi la vitesse, la puissance fournie, a puissance utile, le rendement, l'induction spécifique etc., et les courbes des valeurs de ces quantités constitueront les caractéristiques du moteur.

Ces courbes dépendent essentiellement des dimensions des moteurs et nous indiquerons ci-dessous la marche à suivre pour les déterminer.

Caractéristiques

Deux cas sont à considérer : 1° celui où le moteur est alimenté sous courant constant ; 2° celui où il est alimenté sous potentiel constant.

Le premier cas est tout résolu car les valeurs de I et de C dont les autres dérivent sont données en fonction du courant inducteur lui-même : ce cas est d'ailleurs rare dans la pratique.

Le cas le plus fréquent est celui où le potentiel est maintenu constant aux bornes du moteur ou de la génératrice. Dans ce cas le courant inducteur n'est plus constant mais subit des variations que nous allons rechercher.

Variations du courant inducteur

Pour déterminer les variations du courant inducteur, reprenons la construction graphique de ci-dessus.

Nous avons vu que les droites A D, D E et E F (fig. 12) représentent les forces électromotrices $R\ I$, $\beta\ L\ I$, et

$$\frac{p\beta MI}{1+\sin^2\varphi}$$

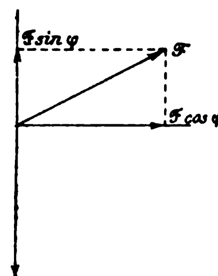


Fig. 1

Or I peut s'écrire

$$I = H\frac{nI}{pn'}$$

où H représente le coefficient numérique, donc

$$\frac{p\beta MI}{1+\sin^2\varphi} = \frac{pH}{pn'}\frac{\beta nMI}{(1+\sin^2\varphi)}$$

Mais $n\ M = n'\ L$
donc

$$\frac{p\beta MI}{1+\sin^2\varphi} = \frac{H\beta LI}{1+\sin^2\varphi}$$

R sera la résistance ohmique du circuit inducteur seul ou ligne comprise, suivant que le potentiel sera maintenu constant aux bornes du moteur ou de la génératrice. On voit que toutes les forces électromotrices sont exprimées en fonction du courant inducteur I. La force électromotrice résultante ε, représentée

par A F pourra aussi être exprimée en fonction de I et s'écrira

$$\varepsilon = R_a \; I$$

ou R_a sera la résistance apparente totale du circuit.

Si nous divisons ces quantités par I, ce qui restera, sera les résistances ohmiques ou apparentes du système, telles que sous l'influence des forces électromotrices correspondantes, elles laissent passer le courant I.

Or, si on connaît les dimensions du moteur ces résistances R, β L. H β $L\,I$, peuvent être déterminés pour chaque valeur de φ. En effet, si la résistance magnétique est supposée constante, la seule quantité variable est H qui est connu en fonction de φ. L'angle F E F' est égal à φ, donc on peut construire le polygone des résistances pour chaque valeur de φ et la

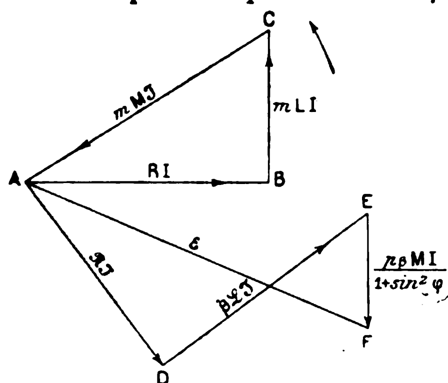


Fig. 11.

droite A F qui fermera ce polygone représentera les différentes valeurs de R_a.

Mais nous savons que $\varepsilon = R_a \, I$ et nous avons supposé que ε la force électromotrice agissante reste constante, donc $I = \dfrac{\varepsilon}{R_a}$

Nous aurons ainsi pour chaque valeur de φ les valeurs du courant inducteur et nous pourrons en déduire les valeurs des ordonnées des caractéristiques.

Caractéristique des courants induits

Est obtenue directement en remplaçant la valeur de I dans l'expression de la valeur maxima du courant induit

$$I = \frac{nI}{pn'} \frac{\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

Caractéristique des couples moteurs

Est obtenue de même par l expression

$$C = \frac{n^2 I^2}{\Upsilon} \frac{\sin 2\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

Caractéristique des vitesses

Les vitesses seront déduites de l'équation

$$\text{tg}\,\varphi = \frac{pm\text{L}}{\text{R}} = \frac{4\pi pmn'^2}{\text{R}\;\Upsilon}$$

Si on suppose que γ est constant, on déduit directement

$$m = \frac{\text{tg}\,\varphi\;\text{R}\;\Upsilon}{4\pi pn'^2}$$

Caractéristique des puissances totales.

Reprenons le polygone ADEF des forces électromotrices du circuit inducteur. Nous savons que la puissance totale fournie est donnée par

$$P_t = \varepsilon \; I \cos\psi$$

Si AF (fig. 13) est égal à ε, on aura AM $= \varepsilon \cos\psi$; mais comme AD $= RI$ on pourra

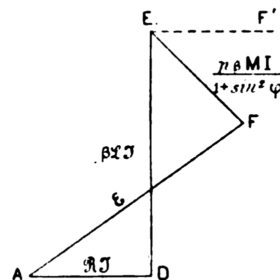


Fig. 12.

écrire que AM $= (R + \rho)\,I$, et la puissance totale sera égale à

$$P_t = (R+\rho)\,I^2$$

Mais dans l'épure des résistances la droite AM représente la résistance $R+\rho$; il suffira d'en faire le produit par I^2 pour avoir la puissance totale.

Caractéristique des puissances utiles.

Comme puissance utile nous comprenons la puissance disponible sur l'abre du moteur, plus la puissance absorbée par les frottements mécaniques, courants de Foucault et hystérésis

Cette puissance sera exprimée, comme nous l'avons vu plus haut, par

$$P_u = 2\pi C\,(\beta - m)$$

L'hystérésis peut être calculée si on connaît à chaque instant l'induction spécifique à laquelle est soumis le fer du circuit magnétique.

Caractéristique des rendements.

Le rendement sera égal à $n = \frac{P_u}{P_t}$.

On peut lui trouver une autre expression : en effet, la puissance utile est aussi égale à la puissance transmise ρI^2 diminué de la perte de chaleur dans l'induit pRI^2

Donc

$$n = \frac{\rho I^2 - pRI^2}{(R+\rho)\, I^2}$$

Mais

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{H} n I}{p}$$

Donc

$$n = \frac{\rho - \frac{H^2 n^2 R}{p}}{R+\rho} = \frac{p\rho - H^2 n^2 R}{p\,(R+\rho)}$$

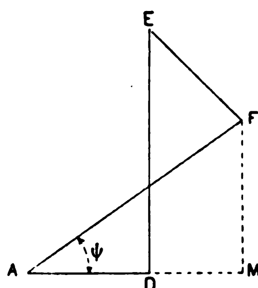


Fig. 13.

Caractéristique des inductions spécifiques totales.

L'induction spécifique totale dépend à chaque instant de la valeur du flux résultant traversant la masse magnétique. Ce flux sera obtenu en composant le flux inducteur F et le flux induit F.

On aura

$$\Phi^2 = F^2 - 2\,F\mathrm{F}\sin\varphi + \mathrm{F}^2$$

Mais nous avons trouvé que

$$\mathrm{F} = F\frac{\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

d'où

$$\Phi^2 = F^2\frac{(1+\sin^2\varphi - \sin^4\varphi)}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

Le coefficient

$$\frac{1+\sin^2\varphi - \sin^4\varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

variera de 1 jusqu'à 1/2 quand φ variera de $\varphi = 0$ à $\varphi = 90°$.

Observations.

Nous avons supposé jusque maintenant que la résiststance magnétique restant constante ; cela peut être admis sans grande erreur quand le moteur fonctionne en restant loin de la saturation, autrement il faut en tenir compte et voici comment :

On dresse la courbe des résistances magnétiques en fonction du flux inducteur qui traverse le circuit magnétique ordinaire.

Cette reluctance sera donnée par la formule

$$r = \frac{l_e}{s_e} + \frac{l_a}{M_a\, s_a} + \frac{l_i}{M_i\, s_i}$$

où l_e, l_a, l_i, s_e, s_u, s_i, u_u et u_i, sont les longueurs des axes des lignes de force, les sections et les inductions spécifiques de l'entrefer, l'armature et l'inducteur.

Cette formule suppose qu'il n'y a pas de déperditiou de flux : s'il y en a et si on en con-

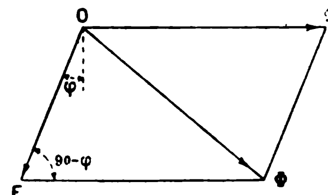


Fig. 14.

naît le coefficient, rien de plus facile que d'en tenir compte.

On obtiendra ainsi une courbe telle que AB (fig. 15).

Par rapport aux mêmes flux inducteurs nous pouvons trouver le volume du courant inducteur nécessaire pour les produire ; ces valeurs seront données par l'équation

$$F = \frac{4\pi n I}{r}$$

CD représentera la courbe de ces valeurs et le rapport de ordonnées de la courbe CD à celles de AB ou de $\frac{I}{r}$ sera représenté par la courbe EF.

Reprenons maintenant le polygone du circuit inducteur ADEF (fig. 16).

Nous avons vu que $AF = \frac{\varepsilon}{I}$ où I est obtenu

en supposant que la résistance magnétique ne change pas. Mais, par suite que ce courant I augmente, la résistance magnétique augmentera et de γ deviendra égale à γ_1 : la droite ED qui est égale à

$$\frac{4\pi\beta n^2}{\gamma}$$

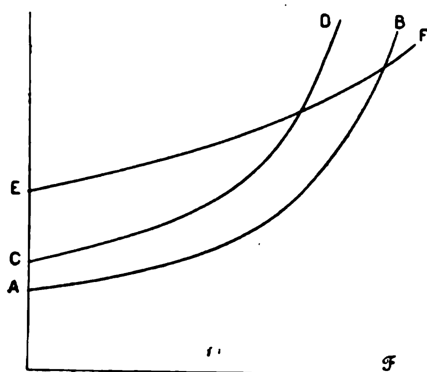


Fig. 15.

va diminuer et devenir égale à DE_1. La résistance apparente totale, pour le même angle φ deviendra AF_1, et la nouvelle valeur du courant inducteur sera donnée par

$$\frac{\varepsilon}{AF_1}=I_1$$

le courant I_1 et cette réluctance γ_1 devront évidemment avoir des valeurs telles qu'elles se

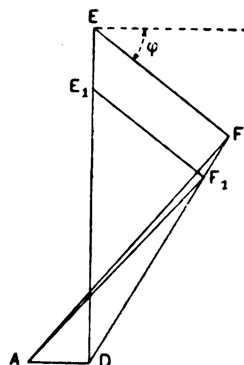


Fig. 16.

correspondent, c'est-à-dire que leur position sur les courbes CD et AB soient sur une même verticale.

Mais nous ferons remarquer que, comme on le verra plus tard, la droite AD où la résistance R est négligeable devient ED ou βL. Le polygone ADEF pourra donc se réduire au triangle DEF

On pourra écrire

$$I=\frac{\varepsilon}{DF}$$

Mais

$$DF=\frac{PD}{\sin\psi}$$

$$PD=ED-EP=\beta L-\frac{H\beta L\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

Or,

$$H=\frac{\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$$

$$PD=\beta L\left(1-\frac{\sin^2\varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}\right)=\beta L\frac{1+\sin^2\varphi+\sin^4\varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

et,

$$DF=\frac{\beta L}{\sin\psi}\,\frac{1+\sin^2\varphi+\sin^4\varphi}{(1+\sin^2\varphi)^2}$$

finalement,

$$\frac{I}{\gamma}=\frac{\varepsilon}{4\pi\beta n^2}\sin\psi\frac{(1+\sin^2\varphi)^2}{1+\sin^2\varphi+\sin^4\varphi}$$

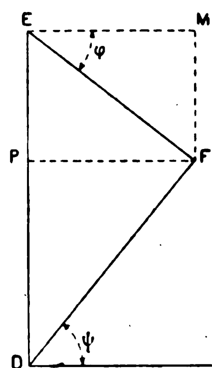


Fig. 17.

On remarquera que, pour un même angle φ, l'angle ψ reste constant quelle que soit la valeur de la résistance magnétique : cet angle ψ pourra donc être déterminé pour chaque valeur de φ et par conséquent le rapport $\frac{I}{\gamma}$. Mais il faut nécessairement, comme nous venons de le dire que la valeur de I et de γ se correspondent : pour trouver ces valeurs, il nous suffira donc de rechercher sur la courbe EF de la première figure, le rapport équivalent et sa position déterminera celle des valeurs de I et de γ. On aura donc ainsi les éléments nécessaires pour déterminer les caractéristiques réelles du

moteur et en étudier les propriétés avant même qu'il soit construit.

Dans une prochaine publication nous ferons le calcul d'un moteur de ce genre, comme application de cette méthode.

L. LEGRAND.

(*A suivre.*)

SUR LA PROPAGATION DES PERTURBATIONS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES (¹)

II. — MESURE DES VITESSES DE PROPAGATION

13. — Les méthodes employées pour déterminer expérimentalement les vitesses de propagation des perturbations électriques et mamagnétiques peuvent être divisées en deux classes :

1° Les méthodes directes, consistant à déterminer le temps employé par ces perturbations pour parcourir une distance connue ;

2° Les méthodes indirectes, consistant à produire une série de perturbations périodiques et à mesurer, d'une part la longueur d'onde λ, d'autre part la période T, la vitesse V étant déduite de ces deux quantités au moyen de la relation

$$\lambda = VT$$

Cette dernière classe peut être divisée elle-même en plusieurs groupes suivant le procédé utilisé pour la mesure de λ.

Nous avons vu que, dans certains cas, la théorie conduit à une vitesse de propagation infinie. Ajoutons que dans ceux où elle conduit à des vitesses finies, les valeurs que donnent les expressions trouvées pour ces vitesses sont toujours excessivement grandes, sensiblement du même ordre de grandeur que la vitesse de la lumière. Par conséquent, pour que dans les méthodes directes, le temps employé par les perturbations pour franchir une certaine distance ne soit pas trop petit pour échapper à la mesure il est nécessaire que cette distance soit considérable. Mais si les perturbations se propagent par ondes sphériques, comme cela doit avoir lieu dans les diélectriques indéfinis d'après les théories de Helmholtz et de Maxwell, l'énergie par unité de volume diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne de l'origine des perturbations. Comme les moyens dont nous disposons actuellement pour produire des perturbations ne mettent en jeu qu'une faible quantité d'énergie nous pouvons dès maintenant prévoir que les méthodes directes ne conviennent pas à la mesure des vitesses dans les milieux diélectriques indéfinis. Toutefois il ne faudrait conclure qu'elles sont toujours inutilisées car de nombreuses observations font pressentir que quelques-unes des perturbations du champ magnétique terrestre ont une origine solaire; si donc nous arrivons à reconnaître à un signe visible le phénomène solaire qui donne lieu à ces perturbations, il sera dès lors facile de comparer directement, comme l'a proposé M. Guil-

(¹) L'*Eclairage Electrique*, 1894, p. 16 et p. 118.

D'assez nombreuses erreurs typographiques sont restées dans la première partie de cet article ; bien quelles aient sans doute été facilement corrigées par nos lecteurs, nous indiquons les principales et les corrections qui doivent être faites :

Page 16, colonne 2 ; supprimez *dans* ;

Page 19, colonne 2 ; dernière équation du § 3, au lieu du second signe =, mettez le signe —.

Page 20, colonne 1, 4ᵉ équation, au lieu de $\frac{1}{\chi}$, mettez $\frac{1}{\mu}$.

Page 20, colonne 1, ligne 6 du texte, au lieu de *secteur*, lisez *vecteur*.

Page 22, colonne 1, ligne 4 en remontant, au lieu de x mettez χ.

Page 118, colonne 2, ligne 14 du texte, au lieu de *magnétiques*, lisez *électriques*.

Page 119, colonne 1, ligne 3 en remontant ; au lieu de *divisant*, lisez *dérivant*.

Page 121, colonne 1, rétablir l'équation (4''') ainsi qu'il suit : $R = -\frac{dH}{dt} - \frac{d\varphi}{dz} - \frac{d}{dzdt}$;

Page 121, colonne 2, le second terme du second membre de (19'') doit être : $-\frac{K}{A}\frac{d^2\chi}{dzdt^2}$;

Page 121, colonne 2, dans l'équation (19''), mettez le signe = après le terme $\frac{d^2 i}{dz^2}$.

Page 124, ligne 1, remplacez φ par ψ.

laume [1], la vitesse de propagation des perturbations magnétiques dans l'éther interplanétaire à celle des ondes lumineuses dans le même milieu.

En tout cas nous devons nous contenter jusqu'à présent d'appliquer les méthodes directes à la recherche des vitesses de propagation dans les fils conducteurs. Au contraire, les méthodes indirectes s'appliquent aussi bien aux diélectriques qu'aux fils conducteurs. Mais, toujours à cause de la valeur considérable de la vitesse V, elles exigent que la période T des perturbations soit excessivement petite pour que la longueur d'onde λ soit pratiquement mesurable ; d'ailleurs quand on les applique aux conducteurs la petitesse de T est encore imposée par ce résultat de la discussion théorique : que la vitesse des perturbations périodiques dépend alors de leur période et ne peut être considérée comme égale à celle du front d'une onde isolée que si cette période est excessivement petite. Aussi n'ont-elles pu être employées qu'à partir du jour où, par ses remarquables expériences, Hertz montra la possibilité d'obtenir des perturbations périodiques assez rapides pour que leur longueur d'onde ne dépasse pas quelques mètres.

Notre intention n'est pas de décrire tous les procédés expérimentaux qui ont été employés pour appliquer les méthodes directes ou indirectes. Nous n'y parviendrions pas à moins de donner à cette revue un développement énorme et encore risquerions-nous d'être incomplet. D'ailleurs nos lecteurs ont été tenus au courant des travaux les plus importants exécutés jusqu'à ce jour sur les perturbations électriques et les quelques recherches qui ont été omises seront bientôt l'objet d'un article de M. Raveau, complétant la série d'articles qu'il publiait sur le même sujet en 1891 [2].

Nous nous proposons seulement de chercher à donner une vue d'ensemble des nombreux travaux se rapportant à la mesure des vitesses de propogation de ces perturbations, en insistant particulièrement sur les résultats qu'ils ont fournis, afin de pouvoir les comparer entre eux et avec les conclusions de la théorie. Toutefois, nous nous étendrons un peu sur les procédés expérimentaux employés dans l'application des méthodes directes, ces procédés nous semblant, à cause de leur ancienneté relative, moins bien connus que ceux qui utilisent les oscillations hertziennes et la divergence des résultats qu'ils ont fournis, n'ayant été bien expliquée que tout récemment.

a. Méthodes directes

14. *Expériences de Watson, Wheatstone, Walker.* — Bien avant que les physiciens eussent une idée bien nette de ce qu'il faut entendre par vitesse de propagation de l'électricité, l'analogie du *fluide électrique* et des fluides matériels, admise par tous au siècle dernier, les avait conduits à admettre que ce fluide circule dans les conducteurs avec une vitesse finie, et à s'occuper de la mesure de cette vitesse.

Mais parmi les nombreuses tentatives dans ce dernier but, il n'y a guère à signaler que celles de Watson [1]. Ce physicien déchargeait une bouteille dans un circuit conducteur formé par plusieurs observateurs réunis entre eux par des fils métalliques, ces fils formant une longueur totale de 3.500 mètres environ. Chaque observateur, muni d'un chronomètre, notait l'instant où il sentait la commotion résultant du passage de la décharge à travers son corps. On ne trouva aucune différence appréciable entre les instants notés par les divers observateurs. Watson en conclut que la vitesse de propagation de la décharge électrique est excessivement grande, trop grande pour pouvoir être mesurée avec la longueur du circuit qu'il employait.

Il faut franchir presque un siècle entier pour

(1) Ch. Ed. Guillaume. *Archives des sciences physiques et naturelles*, t. XXXVIII, p. 302 ; 1892.

(2) Raveau. *La Lumière électrique*, t. XLI, p. 166, 218, 257, 316, 368, 456, 518, 609.

(1) Watson. *Phil. Trans.*, année 1747, p. 49 et année 1748, p. 491.

arriver à de nouvelles tentatives sérieuses. En 1834, Wheatstone [1] tenta de mesurer la vitesse de la décharge d'un condensateur à l'aide de la méthode du miroir tournant, qu'il imagina à cette occasion, et qui, comme on le sait, a rendu depuis de nombreux services, principalement pour la détermination de la vitesse de la lumière. La décharge circulait dans un circuit métallique A B C D E F G, (fig. 1) interrompu en B, en D, et en F. Ces trois interruptions étaient disposées sur une même ligne verticale, en avant d'un miroir tournant, mû par une sirène. Wheatstone constata que les images des trois étincelles formaient trois rectangles allongés ; les extrémités des deux qui sont dus aux étincelles B et F restaient sur une même verticale, quelle

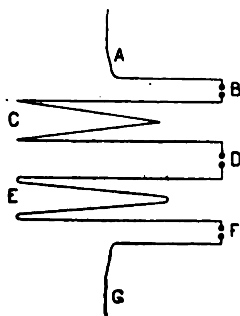


Fig. 1. — Expériences de Wheatstone.

que soit la vitesse de rotation du miroir ; l'extrémité du rectangle correspondant à l'étincelle D était rejetée de côté par rapport à cette verticale et d'autant plus que le miroir tournait plus rapidement. La décharge mettait donc un certain temps pour parcourir le fil B C D ; ce temps étant égal à 1/24.000e de seconde environ et la longueur du fil étant de 731 m. 5, Wheatstone fut ainsi conduit au nombre 463.392 kilomètres pour la vitesse de la décharge dans un fil de cuivre de 0,17 cm. de diamètre.

Quelques années après, en 1849, Walker [2] fut conduit à mesurer la vitesse de propagation de l'électricité dans les fils télégraphiques à l'occasion de la détermination de la différence de longitude entre Philadelphie et Cambridge (Etats-Unis). A l'instant du passage d'une etoile au méridien de la station la plus orientale, que nous appellerons *A*, on lançait un courant dans le fil télégraphique joignant cette station à B, et à l'instant où la même étoile passait au méridien de cette dernière, on lançait un courant dans la direction de A.

Soient, t_1 le temps qui s'écoule entre le passage de l'étoile au méridien de A et l'instant où le signal envoyé de *B* arrive à cette station *A*; t_2 le temps qui s'écoule entre l'instant où B reçoit le signal envoyé par A et celui où l'étoile passe au méridien de B, nous avons

$$t_1 = t + \theta, \qquad t_2 = t - \theta,$$

t étant le temps qui s'écoule entre les passages de l'étoile en A et en B et θ celui que met le signal électrique à parcourir le fil télégraphique joignant les deux stations.

De ces deux relations on tire

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2},$$

et ce temps t étant ainsi déterminé, on peut déduire la différence de longitude entre A et B. En outre on a

$$\theta = \frac{t_2 - t_1}{2},$$

et si l'on connaît la longueur l du fil télégraphique, on obtient la vitesse de propagation

$$V = \frac{l}{\theta}$$

du signal électrique. M. Walker a obtenu ainsi des valeurs comprises entre 25.000 et 30.000 kilomètres, valeurs beaucoup plus petites que le nombre donné par Wheatstone.

15. *Expériences de MM. Fizeau et Gounelle.* — En 1850, MM. Fizeau et Gounelle [1] reprirent la même question par une méthode différente.

Leur appareil se composait d'une roue R (fig. 2) sur la circonférence de laquelle se trouvent trente-six secteurs en platine séparés par trente-six secteurs isolants en bois. Six

(1) WHEATSTONE. *Phil. Trans.*, année 1834, *p.* 583.
(2) WALKER. *Sill. new. Journ.* t. VIII.

(1) FIZEAU et GOUNELLE. *Comptes rendus*, t. XXX p 437 ; 1850.

balais métalliques a, a' a'' b, b', b'', disposés deux à deux en regard les uns des autres, s'appuient sur le contour de la roue. Le balai a est relié au pôle d'une pile P dont l'autre pôle communique avec le sol ; b est relié à une ligne télégraphique L dont l'autre extrémité communique avec les balais b' et b'' disposés de manière que l'un se trouve au milieu d'un secteur isolant quand l'autre est au milieu d'un secteur métallique ; les balais a' et a'' sont reliés aux deux bornes d'un galvanomètre différentiel G communiquant d'autre part avec le sol.

Supposons la roue en mouvement et soit t la durée du contact d'un des balais avec l'un des secteurs c'est-à-dire la soixante-douzième partie du temps employé par la roue pour faire un tour complet. Le fil télégraphique est alors

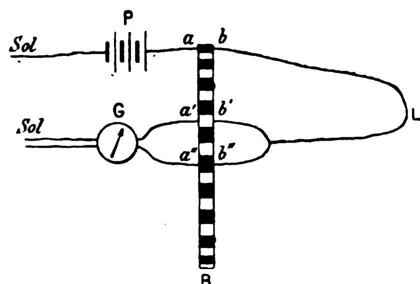


Fig. 2. — Expériences de Fizeau et Gounelle.

parcouru par un courant périodique de période $2t$ qui passe dans l'un ou l'autre des enroulements du galvanomètre. Si le temps θ employé par le courant pour parcourir le fil télégraphique, est un multiple entier pair de t, la position des trois paires de balais par rapport aux secteurs de la roue sera la même au moment où le courant arrive en b' et b'' qu'au moment où il partait de a ; dans la disposition des balais indiquée par la figure, le courant passera alors en b'' a'' et la déviation galvanométrique aura lieu dans un certain sens. Si au contraire θ est un multiple entier impair de t le courant passera en b' a' et la déviation galvanométrique se produira en sens inverse du précédent. Dans le cas où θ est compris entre un multiple pair et un multiple impair de t, le courant passera en même temps dans les deux enroulements du galvanomètre différentiel et l'aiguille de cet instrument sera moins déviée que précédemment.

Par conséquent si l'on imprime à la roue une vitesse de rotation, d'abord très petite, puis allant continuellement en croissant, on constatera que la déviation diminue peu à peu, passe par zéro, croît dans le sens opposé à celui de la première déviation, passe par un maximum, redevient nulle et prend un nouveau maximum dans le sens primitif, puis repasse par la même série de variations. La vitesse de rotation étant connue à chaque instant, on peut en déduire les valeurs t', t'', t''', etc. de t aux instants où se produisent les deviations maxima.

Entre ces valeurs et θ on a les relations

$$t' = (2n+1)\,\theta, \quad t'' = (2n+2)\,\theta, \quad t''' = (2n+3)\,\theta,$$

et en éliminant n, on obtient diverses valeurs de θ, desquelles on peut déduire autant de valeurs de la vitesse de propagation du courant si l'on connaît la longueur du fil télégraphique.

Dans quelques-unes des expériences, on utilisait un circuit formé d'un fil de cuivre de 0,25 cm. de diamètre et de 192 kilomètres de longueur et d'un fil de fer de 0,4 cm. de diamètre et de 96 kilomètres de longueur, appartenant à la ligne télégraphique de Paris à Rouen ; dans les autres, on opérait avec un fil de fer de 0,4 cm. de diamètre et 314 kilomètres de longueur, allant de Paris à Amiens.

MM. Fizeau et Gounelle trouvèrent ainsi que la vitesse de propagation de l'électricité était de

102.000 kilomètres par seconde dans le fil de fer de 0,4 cm.,

180.000 kil. par seconde dans le fil de cuivre de 0,25 cm.

Ils remarquèrent en outre diverses particularités qui les amenèrent à penser que le nombre des éléments de la pile influe un peu sur la vitesse de propagation.

16 *Expériences de Gould.* — Ces expériences [1] furent faites, en 1851 aux Etats-Unis,

[1] Gould, *Amer. Journ. of Science* (2,) *t. XI*; 1851.

sur des lignes télégraphiques de plus de 1600 kilomètres de longueur et au moyen des appareils Morse employés sur ces lignes pour la transmission et la réception des signaux usuels. A l'une des stations, que nous appellerons A, se trouvait un pendule à secondes qui fermait périodiquement le circuit d'une pile envoyant un courant dans un électro-aimant, placé à la même station et dans un second électro-aimant placé à une autre station B. Chacun de ces électro-aimants fermait un circuit local où se trouvait intercalé un récepteur Morse ; ils fonctionnaient donc comme relais et l'on obtenait sur les bandes de papier des récepteurs, des traits d'égales longueurs et également espacés. Si t est l'instant où se produisait une rupture du courant par le pendule, $t + a$ sera l'instant où la pointe du récepteur Morse de la station A cessait d'appuyer sur la bande de papier, a étant le temps nécessaire à la désaimantation du relais et à celle de l'électro-aimant de ce récepteur. En appelant θ le temps employé par le courant pour arriver à la station B, $t + \theta + b$ représentera l'instant où la pointe du récepteur de cette station cessait d'appuyer sur la bande de papier.

On produisait en B, à l'aide d'un transmetteur Morse, une interruption très courte du courant transmis à cette station par la station A ; soit t_1 l'instant où cette interruption avait lieu. Elle se manifestait à l'instant $t_1 + b$ dans le trait tracé par la pointe du récepteur Morse de B et à l'instant $t_1 + \theta + a$ dans celui que donne le récepteur Morse placé en A. Si l'instant t considéré précédemment correspond à l'interruption régulière du pendule qui suit immédiatement l'interruption anormale produite en B, la différence

$$t + a - (t_1 + \theta + a) = t - t_1 - \theta = \alpha$$

représentera le temps pendant lequel la pointe du récepteur de A restait en contact avec le papier après la cessation momentanée du contact et

$$t + \theta + b - (t_1 + T) = t - t_1 + \theta = \beta$$

représentera le temps pendant lequel la pointe du récepteur de B appuyait sur le papier après la cessation momentanée du contact. Or ces temps α et β pouvaient être déduits facilement de la longueur des traits, puisque la distance séparant les extrémités de deux traits consécutifs sur chaque bande de papier correspondait à une seconde. Par conséquent on avait θ par la relation

$$\theta = \frac{\beta - \alpha}{2}$$

et on en déduisait la vitesse de propagation du courant, la distance des deux stations étant connue.

Le pendule interrupteur était placé à Washington; il envoyait le courant jusqu'à Saint-Louis, situé à 1,682 kilomètres de Washington, en passant par Pittsburg, Cincinnati et Louisville. Le fil reliant ces diverses stations était du fil de fer de 0,3 cm. environ de diamètre. Dans une seule nuit 656 interruptions furent faites aux quatre dernières stations. Gould en déduisit 656 valeurs de la vitesse comprise entre 17.580 kilomètres et 38.980 kilomètres par seconde.

17. — *Expériences sur les câbles.* — Les valeurs trouvées par Gould s'accordent bien avec celles trouvées deux ans auparavant par Walker; mais elles diffèrent énormément de celles qu'avaient obtenues MM. Fizeau et Gounelle par une méthode différente, mais dans des conditions paraissant au premier abord analogues. A la suite d'expériences sur le même sujet, faites en 1854 sur des câbles immergés ou enterrés, Faraday se rendit compte de l'influence considérable qu'ont, sur la vitesse de propagation de l'électricité dans un fil, les conducteurs voisins de ce fil et expliqua par cette influence les divergences des résultats donnés par les recherches que nous venons de rappeler.

Le développement considérable que prirent les câbles télégraphiques, pendant les dix années suivantes et surtout la pose des premiers câbles transatlantiques, donnèrent lieu à de nombreuses recherches, aussi bien théoriques qu'expérimentales, qui eurent pour

résultats de bien faire connaître les causes influençant la vitesse de propagation des ondes électriques. Nous ne dirons rien de ces recherches, faites dans des conditions tout à fait différentes de celles où nous nous sommes placé dans la partie théorique de cet article (§ 7) et dont les principales furent exécutées par W. Thomson [1], Fleming Jenkin [2], Guillemin [3], etc. Disons seulement que c'est en 1857 que Kirchhoff démontra pour la première fois que la vitesse d'une onde électrique dans un fil rectiligne de très petit diamètre doit être égale à celle de la lumière.

18. *Expérience de Siemens*. — En 1875, Siemens reprit la question de la mesure de la vitesse de propagation des ondes dans un fil télégraphique aérien. Son appareil se composait de deux condensateurs A et B (fig. 3) dont les armatures internes étaient réunies ensemble. L'autre armature de A était reliée directement à une pointe métallique *a* placée à une petite distance d'un cylindre métallique C enduit de noir de fumée et communiquant avec le sol : la seconde armature de B était reliée à une extrémité du fil télégraphique dont l'autre extrémité aboutissait à une pointe *b* placée à une petite distance du cylindre C et sur la génératrice de ce cylindre où se trouvait la pointe *a*. On chargeait les condensateurs, leurs armatures externes étant reliées au sol, puis on donnait au cylindre une vitesse de rotation rapide et l'on déchargeait les armatures internes des condensateurs en les mettant en communication avec le sol. Les charges des armatures externes ainsi mises en liberté s'écoulaient par les pointes *a* et *b* en donnant des étincelles laissant des traces nettement visibles sur l'enduit de noir de fumée. A cause du temps employé par la décharge de B à parcourir le fil télégraphique, les deux traces n'étaient pas sur la même génératrice et de la distance angulaire qui les séparait on déduisait, connaissant la vitesse de rotation du cylindre, la valeur de ce temps et par suite la vitesse de la décharge dans le fil télégraphique. Siemens a ainsi trouvé, pour des lignes en fil de fer de diverses longueurs :

202 600 kilom.	par seconde	avec une	ligne de	25,36	kil.
230 500	—	—	—	23,32	—
241 800	—	—	—	7,2	—
256 600	—	—	—	23,32	—

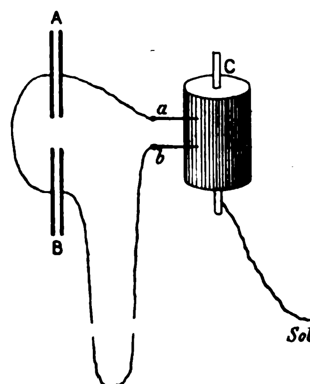


Fig. 3. — Expériences de Siemens.

19. *Expériences de M. Blondlot*. — Mais ce n'est que tout récemment que le résultat obtenu théoriquement par Kirchhoff a pu être vérifié expérimentalement, au moyen d'une méthode directe, par M. Blondlot [1].

Ce physicien mesure la vitesse de propagation des perturbations extrêmement rapides résultant de la décharge de très petits condensateurs. Son appareil est représenté par la figure 4 ; voici comment il le décrit : Deux condensateurs tout pareils, A et A', sont formés l'un et l'autre d'un verre de lampe à gaz, garni intérieurement et extérieurement de feuilles d'étain ; chacune des deux armatures externes est scindée en deux parties annulaires isolées l'une de l'autre, *a* et a_1 pour l'un des condensateurs, *a'* et a'_1 pour l'autre. Les armatures internes sont reliées respectivement aux pôles d'une bobine d'induction, et les boules *b* et *b'*

[1] W. Thomson. *Phil. Mag.* (4), t. XI, p. 146 (1856); t. XIII, p. 135 (1857); *Proc. of the Roy Soc.* t. X, p. 300 (1860).

[2] Fleming Jenkin. *Atheneum*, année 1859, p 402; *Proc of the Roy. Soc.* t. XII, p. 198 (1862).

[3] Guillemin. *Comptes Rendus*, t. L, p. 181, p. 473, p. 913 ; t, LI, p. 554 (1860); *Ann. de Ch. et de Ph.* (3) t. LX, p. 554.

[1] Blondlot. *Comptes rendus*, t. CXVII, p. 543 (23 Octobre 1893).

qui les terminent laissent entre elles un intervalle de 6 mm. à 8 mm. De a et a' partent deux fils courts en laiton, terminés par des pointes p et p', distantes de 1/2 millimètre environ ; la droite $p\,p'$ est horizontale. De a_1 et a_1' partent deux fils $a_1\,cp$ et $a'_1\,cp'_1$ ayant chacun 1.029 mètres de longueur et aboutissant aux mêmes pointes p et p' que les précédents,

Lorsque la bobine fonctionne, les deux condensateurs se chargent, grâce à deux cordes mouillées, figurées par des traits ponctués, qui permettent le passage de l'électricité de chaque armature extérieure à l'autre. La décharge survient brusquement, par une étincelle qui éclate entre les boules b et b' ; à ce moment, les charges des armatures externes deviennent libres et une différence de potentiel prend subitement naissance, entre a et a' d'une part et entre a_1 et a_1' d'autre part ; les cordes mouillées ne jouent aucun rôle, à cause de l'extrême rapidité des phénomènes.

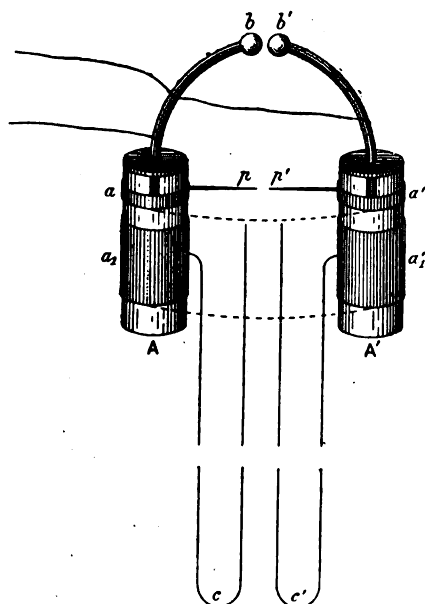


Fig. 4. — Expériences de Blondlot.

Les armrtures a et a' se déchargent aussitôt par une étincelle entre les pointes p et p'.

De même, les armatures a_1 et a_1' reliées aux mêmes pointes par les longs fils $a_1\,cp$, $a_1'\,cp'$, se déchargent par une étincelle entre p et p', mais, cette fois, l'étincelle n'éclate qu'après que la perturbation originelle a parcouru, en suivant les longs fils $a_1\,cp$, $a_1'\,cp'$, un chemin de 1.029 mètres.

Il suffit donc de mesurer le temps qui s'écoule entre les passages des deux étincelles entre p et p' pour avoir le temps qu'emploie la perturbation à parcourir un chemin de 1.029 mètres le long du fil de cuivre. Cette mesure s'effectue par la méthode du mircir tournant. Les rayons lumineux émanant des étincelles sont reçues par un miroir concave mis en rotation par une petite machine Gramme et réfléchis sur une plaque photographique. En faisant fonctionner la bobine de manière continue, il arrive toujours que des images viennent se former sur la plaque. L'image de l'étincelle de court circuit est beaucoup moins intense que celle du long circuit, et c'est même pour réduire autant que possible la différence d'éclat que les armatures externes des condensateurs sont plus petites pour le court circuit que pour le long circuit. La distance de ces images est mesurée avec une machine à diviser ; la vitesse de rotation du miroir est évaluée au moyen du son d'axe. A l'aide de ces données et des distances du miroir aux pointes p et p' et à la plaque photographique, on peut calculer le temps qui sépare les étincelles et, par suite, la vitesse de propagation de la perturbation dans le long circuit.

Quinze expériences réparties sur cinq plaques photographiques ont donné les résultats suivants exprimés en 10^3 kilomètres par seconde :

Première plaque, moyenne de 4 expériences : 302,9,

2e plaque,	moy. de	4	exp.	298,0,
3e	—	3	—	293,2,
4e	—	2	—	295,9,
5e	—	2	—	292,1,
	Moyenne			296.4,

Le long circuit était formé par des fils téléphoniques en cuivre dits de *haute conductibilité*, ayant 0,3 de diamètre.

Dans une autre série d'expériences faites

sur une ligne de 1821 m. 4 de longueur, M. Blondlot a trouvé :

1re plaque	297,5,
2e —	298,5,
3e —	298,0,
Moyenne	298,0,

La concordance des résultats obtenus dans ces deux séries d'expériences montre que la vitesse de propagation ne dépend pas de la longueur de la ligne et par conséquent que le mouvement de propagation des perturbations est bien uniforme.

20. *Explication des divergences des résultats fournis par les méthodes directes.* — Ainsi donc, tandis que les expériences de Walker et de Gould conduisent à des vitesses de 15.000 à 40.000 kilomètres par seconde dans les fils de fer, celles de MM. Fizeaux et Gounelle donnent 100.000 kilom. environ, et celles de Siemens, une valeur qui est un peu plus du double de la précédente. Les valeurs trouvées pour les vitesses dans les fils de cuivre ne sont guère plus concordantes, MM. Fizeaux et Gounelle ayant obtenu 180.000 kilomètres, M. Blondlot un nombre voisin de 300.000 et Wheatstone 460.000 kilomètres environ.

Toutefois, bien que très différentes entre elles, ces valeurs sont d'accord avec la théorie. Nous avons vu en effet (§ 7) que l'onde se propage en se *diffusant*. Si l'on calcule la distribution du potentiel dans l'onde diffusée, en admettant que la perturbation originelle s'effectue dans des conditions déterminées, se rapprochant autant que possible de celles qui sont réalisées expérimentalement, on trouve que les potentiels croissent d'abord quand on s'éloigne du front de l'onde pour se rapprocher de l'origine, puis décroissent ensuite; en d'autres termes la distribution du potentiel est représentée graphiquement par une courbe analogue à celle de la figure 5. Si donc l'appareil utilisé pour déceler le passage de l'onde en un point du fil exige une certaine valeur du potentiel pour fonctionner, cet appareil ne pourra indiquer le passage du front A de l'onde ; il indiquera seulement le passage d'un point B de cette onde et des résultats obtenus on devra nécessairement déduire une vitesse de propagation plus petite que la vitesse du front. Il est d'ailleurs bien évident que la vitesse trouvée sera d'autant plus petite que l'appareil employé sera moins sensible et on s'explique alors pourquoi les expériences de Walker et de Gould, faites avec des récepteurs Morse, ont donné des vitesses beaucoup plus faibles que celles de MM. Fizeau et Gounelle, faites avec un galvanomètre, instrument incomparablement plus sensible qu'un récepteur Morse.

Quant à la différence de résultats trouvés par MM. Fizeau et Gounelle pour les fils de cuivre et les fils de fer, elle résulte des deux causes suivantes : 1° la résistance spécifique du fer étant plus grande que celle du cuivre, l'influence de la diffusion est plus grande ; 2° le



Fig. 5.

fer étant magnétique, il s'aimante par le passage du courant et le coefficient de self-induction du circuit a une valeur plus grande que celle d'un même circuit en cuivre, ce qui a pour effet de réduire la vitesse de propagation du front de l'onde.

Les résultats obtenus par Siemens s'expliquent aussi facilement en remarquant que ce savant observait l'instant où éclate la *première* étincelle de la décharge, instant qui doit être assez rapproché de celui où le front de l'onde arrive à la pointe de décharge.

Dans les expériences de M. Blondlot, les perturbations sont extrêmement rapides ; la vitesse moyenne de ces perturbations doit donc être, d'après ce que nous avons dit au § 11, sensiblement égale à la vitesse du front d'une onde isolée. Par conséquent les valeurs déduites de ces expériences doivent être plus grandes que celles données par les expériences

antérieures. C'est ce qui a lieu si toutefois on excepte les expériences de Wheatstone.

Mais la valeur élevée trouvée par ce physicien peut elle-même s'expliquer par la théorie. Dans ses expériences, le fil de cuivre de 731,5 mètres de longueur parcouru par la décharge, formait vingt lignes parallèles distantes de 15 cm. Or si l'on calcule, comme l'a fait M. Stéfan (¹), la vitesse de propagation du front d'une onde dans un tel fil, on trouve qu'elle est plus grande que celle du front d'une onde dans un fil rectiligne. Par conséquent il n'y a rien d'étonnant à ce que Wheatstone, tout en ayant mesuré une vitesse moyenne inférieure à celle du front de l'onde, ait trouvé une valeur plus grande que celle obtenue par M. Blondlot. D'ailleurs M. Stéfan a constaté, par des expériences comparatives au moyen des oscillations hertziennes, que la longueur d'onde dans un fil replié en zigzag comme celui de Wheatstone est plus d'une fois et demie plus grande que la longuenr d'onde dans un fil rectiligne; par suite la vitesse de propagation dans le circuit de Wheatstone doit être plus d'une fois et demie plus grande que dans un fil rectiligne; ce qui s'accorde avec les résultats de Wheatstone et de M. Blondlot.

En dernier lieu faisons observer que les expériences de M. Blondlot, qui nous donnent très sensiblement la vitesse du front de l'onde, nous permettent un point de comparaison entre la théorie et l'expérience. Si nous prenons la formule $V = \frac{1}{\sqrt{K\mu}}$ à laquelle conduisent les idées anciennes sur l'électricité ausi bien que les vues de Maxwell, et si nous y remplaçons K et μ par les valeurs de la capacité inductive spécifique et de la perméabilité magnétique de l'air, nous obtenons pour V le v de Maxwell. Or, on sait que la valeur de cette quantité est 3×16^{10} cm. par sec.; le résultat des expériences de M. Blondlot est donc sensiblement égal à celui que donne la théorie ancienne ou celle de Maxwell. On ne peut dire qu'il est en contradiction avec les théories de Helmholtz, mais en tout cas il montre que, si cette théorie est exacte, la quantité k, introduite par ce savant dans l'expression du potentiel électrodynamique de deux éléments de courant, doit être voisine de 1, ce qui ramène cette expression à celle de Neumann.

(*A suivre.*) J. BLONDIN.

(¹) STEFAN. *Wiener Berichte*, 23 avril 1891; *La Lum. Elec.*, t. XL, p. 626.

EXTRAITS

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

COMMUNICATIONS

Essais de stations centrales de tramways électriques

L'*Electrical World* du 1er décembre publie un article très détaillé sur les essais à effectuer dans les stations centrales pour tramways électriques, dans le but de déterminer les coefficients économiques de l'exploitation

Les essais doivent être faits, recommande l'auteur, avec la plus grande minutie, pour bien séparer les différentes pertes et leurs causes. Ces essais doivent porter sur les foyers, chaudières, canalisations de vapeur et d'eau, machines à vapeur, condenseurs, pompes, sur les génératrices, les lignes et les récepteurs des voitures.

Deux essais doivent être faits : l'un à charge constante, qui permet d'apporter plus de précision dans les mesures; l'autre à la charge variable qui correspond à l'état normal de l'exploitation.

Dans l'essai à charges variables les lectures doivent être simultanées ; pour les chaudières, lectures tous les 5 minutes ;

Pour les machines à vapeur, prendre les diagrammes toutes les 2,5 m. ;

Pour les génératrices, noter le débit et la force électromotrice aux bornes toutes les 2,5 m. simultanément avec les machines à vapeur.

Les gaz s'échappant par la cheminée doivent être analysés pour bien établir les conditions de combustion des foyers. Des relevés calo-

rimétriques doivent être pris également pour évaluer les pertes en chaleur par radiation.

A part les mesures relatives à l'énergie consommée dans les moteurs, le travail absorbé par les engrenages réducteurs de vitesse peut être évalué par deux essais successifs au frein directement appliqué sur l'arbre du moteur, puis sur le dernier renvoi. Les résistances des contacts dues au sable et à la boue entre les rails et les trucks doivent être mesurées.

La perte de charge due à la présence du sable sur les rails est souvent très importante et plus grande que celle résultant des liaisons défectueuses des rails entre eux. Un moyen facile de déterminer cette chute de potentiel consiste à employer un voltmètre dont une borne est reliée au truck et l'autre à une petite roue munie de dents taillantes et ayant une poignée suffisamment longue pour être appliquée contre le rail depuis l'arrière de la plateforme du car. Les taillants de la roue, écartant le sable et l'enduit de boue, pénètrent jusqu'au rail.

Des essais plus ou moins complets effectués dans ces quatre dernières années, il résulterait qu'en Amérique on pourrait compter, en moyenne, sur les chiffres suivants :

Eau évaporée par kg. de combustible et à 212° F (100° C) : 11,5 kg. à 11,75 kg.

Perte en pression par convection, radiation, etc., dans les conduites de vapeur : 1 à 1,25 pour 100.

Chaleur perdue, entre la chaleur totale développée dans les foyers jusqu'au condenseur : 1,5 à 2 pour 100.

Consommation de combustible par cheval-heure indiqué, à charge constante : 0,675kg. à 0,7[illegible]0 kg.

Pertes par frottements dans les machines et par les courroies : 0,15 à 0,20 pour cent.

Résistance électrique d'une double voie avec circuit de retour : $0^{\omega}02$ à $0^{\omega}03$.

Ces chiffres intéressants à retenir sont certainement un peu favorisés par les soins apportés dans les essais ; il serait prudent de majorer les coefficients précédents d'un facteur de sécurité. Il est à remarquer en outre que les chaudières donnent rarement en service normal une évaporation aussi avantageuse que celle précitée ; il ne faut guère compter en moyenne que 10,5 kg. d'eau évaporée par kilogr. de combustible.

J. E. B.

Relais polarisé Lloyd.

Dans la figure 1, B est une bobine enroulée de fil de cuivre fin couvert de soie, dans laquelle est inséré un noyau C en fer doux soigneusement recuit, dont le centre reçoit

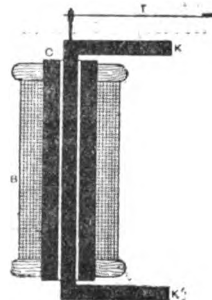


Fig. 1.

une armature en fer doux avec prolongements K et K', l'extrémité supérieure de l'armature porte aussi une languette de maillechort T (fig. 1 et 2).

De chaque côté des prolongements K est

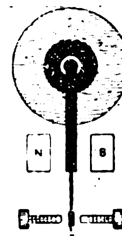


Fig. 2.

fixé un aimant permanent droit, dont les pôles de nom contraire (N et S) se font face. Le jeu de T est limité par deux vis de réglage.

On obtient une plus grande sensibilité en employant deux bobines et deux armatures avec prolongements A et B (fig. 3). Cette disposition présente aussi l'avantage que chaque armature est munie d'une languette et que l'instrument peut accomplir dans beaucoup de

cas le travail de deux relais, comme dans la figure 4. Une seule bobine pourrait suffire, mais comme elle entoure toute la longueur de

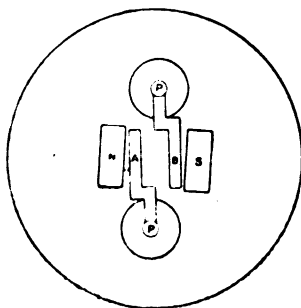


Fig. 3.

l'armature, les prolongements sont aimantés plus uniformément, et dans leur position de

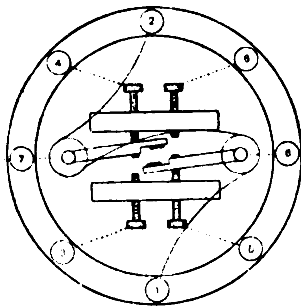


Fig. 4.

plus grande sensibilité, c'est-à-dire au milieu entre N et S, ils répondent au courant le plus faible.

Le réglage des circuits à courants polyphasés et des transformateurs de courants polyphasés en courant continu, par W. Lahmeyer (¹).

S'étant occupé de la construction des dynamoteurs à courant continu, l'auteur fut conduit, lorsque les courants polyphasés entrèrent dans la pratique, à transformer ces machines afin que le système primaire fût alimenté par des courants polyphasés au lieu de courant continu, mais que le système secondaire restât le même. Le réglage d'un transformateur de ce genre diffère notablement de celui du dynamoteur.

Si nous modifions l'excitation du transformateur à courant continu, nous ne changeons que sa vitesse angulaire sans toucher à la tension secondaire. Plus intense est l'excitation, plus petite est la vitesse de la machine. Le transformateur à courant continu est donc aussi peu réglable que celui à courant alternatif, et présente encore sur ce dernier le désavantage de donner lieu à une plus grande chute de potentiel intérieure.

Le transformateur de courants polyphasés en continu étant une machine synchrone, ne peut adapter sa vitesse secondaire à la tension d'alimentation, c'est-à-dire à l'intensité de son excitation. Une machine synchrone avec excitation insuffisante pour produire une force contre-électromotrice égale à la tension d'alimentation produit, comme les moteurs asynchrones, un retard de phase du courant principal, lequel tend donc à renforcer l'alimentation.

L'action de ce décalage de phase peut s'expliquer par comparaison avec la machine à courant continu. Quand, dans une machine bipolaire, les balais sont sur la ligne interpolaire, l'axe du champ dû à l'induit est perpendiculaire à l'axe du champ principal. Il se forme un champ résultant, dont l'axe occupe une orientation intermédiaire entre les deux précédentes. Si nous calons l'induit de la machine, et si nous tournons le porte-balais de 90°, de façon à amener les balais sur la ligne joignant les deux pôles, l'axe du champ dû à un courant extérieur, coïncide avec l'axe du champ des inducteurs. Selon le sens du courant, les deux forces magnétomotrices peuvent être de même sens ou de sens opposé. Dans cette position des balais, une machine ordinaire à courant continu ne peut pas fonctionner, à cause des étincelles qui se produisent.

Or, cet effet, qui dans les machines à courant continu s'obtient par un décalage des balais, est, dans le fonctionnement simultané de deux alternateurs, l'un primaire, l'autre secondaire, le résultat d'excitation inégales des deux machines. Quand la machine secondaire

(¹) Communication faite à la Société des électriciens d'Allemagne.

est aimantée insuffisamment ou même pas du tout, le courant primaire lui apporte une certaine excitation à cause du retard de phase qu'il éprouve. Le contraire a lieu, lorsque la machine secondaire est trop fortement aimantée ; car, dans ce cas, la phase du courant principal est avancée, et agit dans l'induit secondaire en sens contraire du champ inducteur.

Le principe de ces actions avait été signalé déjà par Swinburne, mais ne semble pas avoir été appliqué.

Au point de vue de l'application pratique des machines secondaires synchrones, il est important de savoir de quel ordre de grandeur peuvent être les inégalités d'aimantation des deux machines, avant qu'une forte charge puisse détruire le synchronisme.

A l'Exposition de Francfort, l'auteur a eu l'occasion d'éclaircir ces questions par la pratique, dans l'application qu'il fit des transformateurs de courants polyphasés en continu au transport d'énergie d'Offenbach à Francfort. Les résultats pratiques ont été les suivants :

Quand le transformateur était aimanté trop faiblement, on ne pouvait, en renforçant l'excitation primaire, augmenter que très faiblement les tensions primaire et secondaire ; d'autre part, en faisant varier l'excitation totale du transformateur, on pouvait régler entre des limites quelconques la tension de la machine primaire. On pouvait même supprimer le courant d'excitation de la machine primaire et aimanter la machine en agissant, au transformateur, sur la phase du courant.

On a reconnu, en outre, qu'avec des enroulements convenablement choisis des deux machines, la désynchronisation d'une des machines ne pouvait s'obtenir, même sous les plus fortes charges, à la condition qu'un rhéostat automatique, en dérivation sur le transformateur, maintînt constante la tension secondaire.

La possibilité d'augmenter l'excitation de la machine primaire en agissant sur la machine secondaire peut servir non seulement au réglage de la tension, mais aussi pour augmenter la puissance de la machine primaire, circonstance qui présente également une certaine importance.

La première application en a été faite par l'auteur à la transmission de 300 chevaux de Bozingen aux ateliers de la ligne Jura-Simplon à Bienne. Dans ce dernier endroit fonctionnent deux transformateurs, dont l'un fournit 60 chevaux sous forme de courant continu de basse tension, tandis que l'autre reçoit 150 chevaux et en débite 75 en courant continu de basse tension, le reste étant utilisé directement comme puissance mécanique prise sur l'arbre.

Une autre application a été faite à l'usine d'électricité de Bockenheim, mise en service à la fin de 1892.

Cette usine débite la plus grande partie de l'énergie sous forme de courant à haute tension pour machines asynchrones, c'est-à-dire sous une forme qui tend à affaiblir considérablement l'aimantation de la machine primaire, et ces machines sont d'un type très sensible aux réactions d'induit.

La tension primaire de cette installation est d'environ 80 volts, que les transformateurs portent à 680 volts. Au réseau à grande tension sont reliés directement les moteurs à champ tournant. Entre ce réseau et celui à courant continu à 110 volts fonctionnent trois transformateurs de courants polyphasés en continu. On constata bientôt que la réaction nuisible du courant des moteurs asynchrones sur les machines primaires était très considérable. Les moteurs asynchrones étaient calculés de façon qu'à pleine charge, ils ne fournissent qu'une très petite différence de phase.

Mais il faut tenir compte de ce que, dans la pratique, les moteurs sont en moyenne peu chargés et leur courant présente donc un grand décalage de phase. Or, les transformateurs reliés au réseau à haute tension offraient la possibilité de compenser l'action nuisible du courant des moteurs asynchrones. On peut même proportionner le rapport des deux courants de telle façon que le courant résultant n'ait plus aucun effet de réaction sur les ma-

chines primaires, qui donnent dès lors, avec la même excitation, toujours le même voltage. Car la perte en volts dans l'armature ne forme qu'une faible partie de la tension totale. Cette propriété du courant résultant est très importante, car elle a permis, dans l'installation de Bockenheim, de doubler la puissance des machines primaires, en compensant la réaction à l'aide de transformateurs hyperaimantés.

Toutefois, toutes les génératrices ne présentent pas des avantages aussi grands; les machines à pôles extérieurs avec induit en tambour, entre autres, ne donnent lieu qu'à une réaction très petite. La section de l'enroulement ne peut, en effet, occuper qu'un espace relativement petit, et la limite du débit n'est pas déterminée par la réaction de l'induit, mais par l'échauffement des fils. Au contraire, dans les machines à pôles intérieurs, comme celles de Bockenheim et de Lauffen, il y a un grand espace disponible pour l'enroulement induit dont la section peut être choisie aussi grande qu'on le veut.

Lorsque, comme c'est le cas à Bockenheim, plusieurs transformateurs de ce genre agissent en différents points d'un réseau, on a l'avantage ultérieur qu'à charge inégale des parties de réseau affectées aux différents transformateurs, il est néanmoins possible d'égaliser les tensions en agissant sur l'amplitude du courant primaire par le décalage de phase. D'ailleurs dans une installation de ce genre, où les machines primaires ne sont soumises à aucune régulation, et les transformateurs étant réglés à tension secondaire constante, les petites variations de la tension primaire ne se transmettent pas à la tension secondaire. Tout comme, dans l'emploi de dynamoteurs, la tension secondaire peut être réglée tout à fait indépendamment de la tension primaire, on peut, dans les transformateurs, obtenir ce même résultat à un degré suffisant dans la pratique, quoique les deux enroulements se trouvent sur la même armature.

La grande différence d'action des moteurs synchrones hyperaimantés et des moteurs asynchrones sur les machines primaires a conduit l'auteur à étudier l'emploi des moteurs synchrones. A ce point de vue, le système mixte est particulièrement avantageux, puisqu'il donne la possibilité d'exciter les inducteurs par un courant continu, au lieu du courant redressé.

En employant ces moteurs, on peut donner aux machines primaires de faibles dimensions, ayant néanmoins une forte section de cuivre sur l'induit. Le courant d'excitation fourni par ces moteurs et transmis aux machines primaires est ainsi moins coûteux qu'avec les machines primaires multipolaires à petite vitesse.

Comme les moteurs synchrones n'impliquent pas, comme ceux asynchrones, l'emploi de fréquences élevées, on peut se servir de fréquences relativement basses, favorables à un bon rendement et à un bas prix des moteurs et des machines.

Le système mixte à courants polyphasés et à courant continu présente donc, lorsque les principes de régulation exposés plus haut y sont appliqués, de notables avantages.

Il y aurait certainement des inconvénients à distribuer du courant continu à 700 volts à un grand nombre de petits moteurs. Un moteur à courant continu à 700 volts demanderait beaucoup de surveillance. Or, on ne peut distribuer l'énergie électrique économiquement qu'en la fournissant à haute tension. D'autre part, dans une installation dont les moteurs peuvent troubler l'éclairage, on a intérêt à se servir d'accumulateurs. Le mode de régulation décrit permet d'assurer la constance de la tension, mieux qu'avec des transformateurs fixes.

Accumulateur au chlorure de plomb.

Nous avons déjà relaté que le Comité des Sciences et Arts du Franklin Institute avait accordé à l'inventeur, M. Clément Payen, la médaille John Scott. Nous extrayons, du rapport publié dans le journal de cette Société

savante, les intéressants renseignements que voici :

La batterie sur laquelle les essais ont été faits, a été mise en service courant et soumise au même usage qu'un certain nombre d'autres accumulateurs de mêmes dimensions, mais de fabrication différente. Les éléments sont construits de la façon suivante :

Au lieu de cimenter la pâte d'oxyde de plomb sur la carcasse de plomb ou à son intérieur, afin d'obtenir la matière active nécessaire, cette matière active est obtenue par un procédé exclusivement chimique. Le chlorure de zinc est mélangé en proportion convenable avec du chlorure de zinc; ce mélange est fondu et coulé en petits blocs carrés dans des moules appropriés; il présente alors un aspect blanchâtre et vitreux et est très brisant.

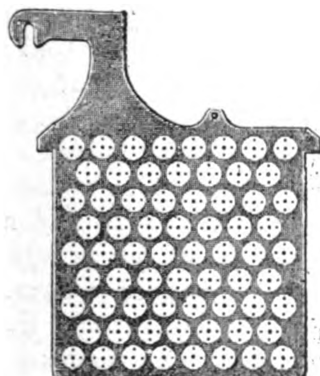


Fig. 1. — Plaque d'accumulateur Clément Payen.

Pour les plaques négatives, ces blocs ont environ 2 cm. de côté et 0,8 cm. d'épaisseur; ils sont coulés par groupes de quatre, réunis entre eux par des bandes ayant de 0,25 cm. à 0,32 d'épaisseur.

Pour les plaques positives, les blocs ont l'aspect de losanges ; leurs tranches sont biseautées en forme de V.

Les blocs sont placés dans des moules convenables, et un mélange de plomb et d'antimoine fondu est coulé tout autour sous haute pression. La coulée sous haute pression, imaginée par M. H. Lloyd, constitue un perfectionnement important. Les bandes de connection des blocs négatifs et la forme en V de la tranche des blocs positifs assurent la solidité de l'ensemble.

Les plaques ainsi formées sont placées dans une solution diluée de chlorure de zinc alternées avec des plaques de zinc et en contact métallique avec elles. Il se forme ainsi un couple électrique; le chlorure de zinc se trouve éliminé et il ne reste finalement que la carcasse contenant des carrés ou des losanges de plomb spongieux qu'on forme suivant les méthodes ordinaires. Il serait intéressant de connaître et le temps et le courant dépensé pour cette formation.

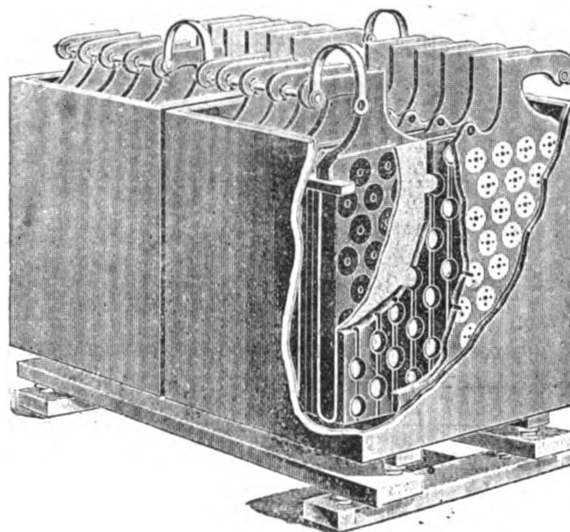


Fig. 2. — Accumulateur Clément Payen.

Si l'on examine une section du plomb spongieux ainsi obtenu, on voit qu'il est cristallisé et que les cristaux sont uniformément arrangés avec leur grand axe perpendiculaire à la surface de la plaque. Il en résulte des interstices qui permettent aux changements de volume qui se produisent pendant l'électrolyse de s'opérer sans exercer une pression latérale sur les cristaux, ce qui aurait pour effet de les forcer à se détacher. Les cristaux ne sont pas mécaniquement et irrégulièrement liés entre eux, mais ils sont formés suivant les lois moléculaires et, par conséquent, beaucoup plus solidement reliés ensemble que par un procédé mécanique quelconque.

En outre, cette structure cristalline offre la surface maxima pour une masse donnée, une infinité de petits canaux traversant tout l'ensemble.

Le poids des éléments, pour une capacité donnée, est donc très réduit, ce qui présente une grande importance, surtout pour les ap-

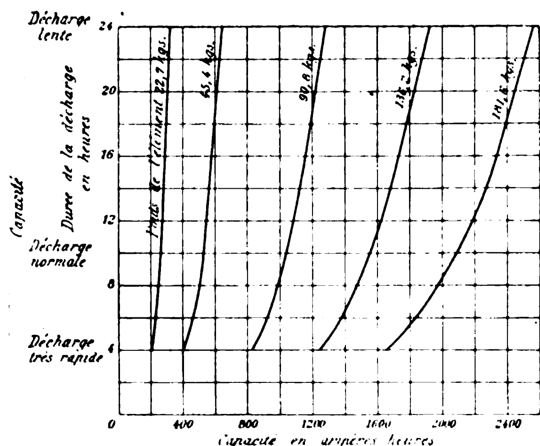


Fig. 3.

plications à la traction. Le courant de décharge peut être très élevé sans qu'il en résulte d'inconvénients, parce que les changements de volume peuvent, comme nous l'avons dit,

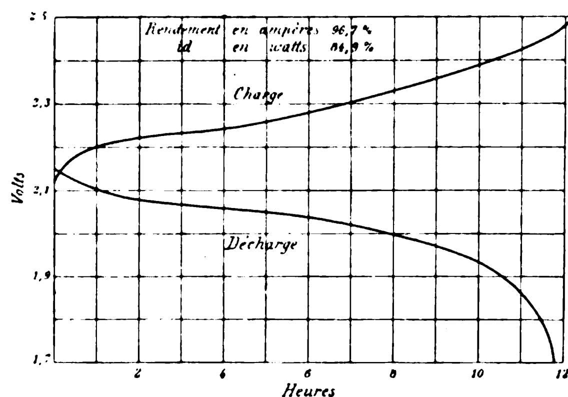


Fig. 4.

s'effectuer librement et que la désintégration ne peut avoir lieu.

Toutefois, pour éviter toute cause d'accident provenant de ce chef, les plaques sont séparées les unes des autres par des rideaux en toile d'amiante qui évitent les courts circuits pouvant être établis par des particules métalliques détachées accidentellement des plaques. Malgré l'augmentation de résistance qui résulte de cette adjonction, la résistance totale des éléments serait pratiquement la même que celle des autres accumulateurs, parce que le contact entre la carcasse et la matière active des plaques est excellent en raison du moulage sous haute pression.

Les figures 1 et 2 représentent l'aspect des plaques et des éléments. Les figures 3 et 4 reproduisent les courbes obtenues pendant les essais et permettent de se rendre un compte exact de la capacité et du rendement dans différentes conditions d'exploitation.

G. P.

Flèches dans des lignes à Trolley

Des essais ont été faits par la *Pierce and Miller engineering company* en vue de déterminer les flèches que prennent les tendeurs et les fils de trolley; ces essais sont rapportés dans l'*Electrical World* du 1er décembre, auquel nous empruntons les formules qui suivent après transformation des mesures anglaises en mesures métriques. La considération des flèches est de grande importance dans les installations de trolleys, en vue de déterminer la hauteur et l'espacement des poteaux.

Les essais ont porté en premier lieu sur les tendeurs du trolley. Ces tendeurs sont des câbles galvanisés de 8 mm. de diamètre environ et de longueur variant de 9 à 36 mètres; des efforts de tension variant de 125 à 1700 kg ont été appliqués à ces câbles dans les deux cas de simple et de double voie.

Pour les fils de trolley, les tensions n'ont été poussées que jusque 1,000 kilogrammes, la limite de sécurité n'excédant probablement pas le chiffre de 1,400 kilogrammes environ pour des lignes présentant des soudures. En tout cas la formule de la chaînette est directement applicable au fil de trolley. Des essais ont été effectués en vue de déterminer l'influence de la température; ses variations produisent des efforts de rupture et des tendances à la déviation des courbes, sinon les deux.

Pour les tendeurs, l'influence de la tempé-

rature est, en général, négligeable, l'élasticité des poteaux permettant de compenser les variations de longueur.

Les formules auxquelles on est arrivé dans les expériences en question sont les suivantes :

A. — Flèche ou inclinaison des tendeurs :

1° En simple voie, pour des tensions variant de 125 à 1 700 kilogrammes ;

$$\text{flèche en centimètres : } D = \frac{l}{S}(450 + 6,25\ l)$$

2° En double voie, pour des tensions variant de 125 à 1 700 kilogrammes et des longueurs de tendeurs jusqu'à 30 m.

$$\text{flèche en centimètres : } D = \frac{l}{S}(600 + 12,5\ l)$$

pour des longueurs de tendeurs de 33 à 40 m.

$$\text{flèche en centimètres : } D = \frac{l}{S}(560 + 12,5\ l)$$

Dans ces formules,

D est exprimé en centimètres ;

l = longueur des tendeurs en mètres ;

S = tension en kilogrammes exercée sur les poteaux.

B. — Flèche du fil de trolley d'après la température.

En étudiant la chaînette formée par le fil de trolley à une température t pour laquelle la tension est supposée de 1 000 kilogrammes, valeur maximum dont nous parlions plus haut, la flèche pour une température T est donnée, après réduction, par la formule suivante :

$$D = \sqrt{91,4\ (T - t) + 87,4}$$

D est exprimé en centimètres ; T et t en degrés centigrades.

La tension variant inversement à la flèche, la formule peut être appliquée pour une tension maximum quelconque, en multipliant la formule précédente par le rapport des tensions maxima, c'est-à-dire par $\frac{F}{1000}$, F exprimant en kilogrammes la nouvelle tension considérée.

Il est enfin à remarquer que la flèche totale si l'on peut ainsi s'exprimer, prise par le système des tendeurs, des crochets de suspension du trolley et du trolley est égale à la somme des flèches des tendeurs et du trolley augmentée de la hauteur du crochet de suspension qui varie de 6 à 15 cm suivant le crochet employé.

E. J. B.

Les ustensiles en aluminium servant aux usages domestiques (¹).

Vers la fin de l'année 1891, MM. Lubbert et Roscher avaient annoncé que l'aluminium était attaqué par le vin, l'eau-de-vie, le café, le thé, ce qui le rendait impropre à la confection des bidons de campagne ou d'autres récipients de même nature.

Quelques mois plus tard M. Balland entreprit des expériences dans le but de contrôler les assertions des chimistes allemands ; il est juste de dire qu'au cours de ces expériences, a paru un travail de MM. Lange et Schmid atténuant une partie des conclusions de Lubbert et Roscher. MM. Lange et Schmid avaient étudié l'action des acides acétique, borique, butyrique, citrique, phénique, salycylique, tartrique ; de l'eau-de-vie, du café, de la bière, du thé et du vin.

Quoi qu'il en soit, il a résulté des expériences de M. Balland que l'aluminium pouvait être employé avec avantage à la confection des ustensiles servant aux usages domestiques.

L'air, l'eau, le vin, la bière, le cidre, le café, le lait, l'huile, le beurre, la graisse, l'urine, la salive, la terre, etc., ont moins d'action sur lui que sur les métaux ordinaires (fer cuivre, plomb, zinc, étain).

Le vinaigre et le sel marin l'attaquent, il est vrai, mais dans des proportions qui ne sauraient compromettre son emploi.

Nous croyons intéressant de rappeler ici en détail les expériences de M. Balland ; en raison de l'importance de cette question.

Le métal était essayé sous la forme d'une tôle d'aluminium, fabriquée en France, telle qu'on la trouvera dans le commerce ; elle

(¹) D'après le journal l'*Aluminium*.

avait une épaisseur de 1 millimètre et pesait 27 gr. 75 par décimètre carré.

Pour les essais, on prenait des lames de 5 grammes, mesurant 18 centimètres carrés, et dont la surface totale, en tenant compte de l'épaisseur, était par conséquent de 38 centimètres carrés.

Ces lames, avant d'être mises à l'épreuve, étaient nettoyées avec le plus grand soin, de même que les récipients dans lesquels on opérait.

Dans les pesées qui suivaient, on les frottait préalablement avec une brosse à ongles; on les lavait à grande eau et on les essuyait parfaitement.

Action du chlorure de sodium. — Même dans les solutions les plus étendues, on remarque la formation de petites proéminences blanches qui se détachent facilement par l'agitation de la lame; cela à quelques points seulement.

Après frottement, on constate qu'au-dessous de ces centres isolés le métal a été légèrement corrodé: La lame entière apparaît comme recouverte d'une très mince patine qui donne au métal un aspect plus terne.

Au fond du récipient, il se dépose un précipité blanc gélatineux renfermant des traces de fer ; la présence de ce métal semble favoriser l'attaque de l'aluminum.

Cette attaque n'est pas en rapport avec le degré de concentration des liqueurs.

Concentration du chlsrure de sodium.	Durée de l'expérience.	Pertes — Pour 5 gr. de tôle.	Pertes — Pour 100 centim. car.
10 pour 100	29 jours	0 gr. 015	0 gr. 038
5 — 100	29 —	0 017	0 045
0,5 — 100	30 —	0 016	0 043

Action de l'eau. — Avec l'eau de Seine filtrée, on observe, mais à un moindre degré, les faits signalés pour les solutions de chlorure de sodium.

Durée de l'expérience.	Pertes — Pour 5 gr. de tôle.	Pertes — Pour 100 centim carrés.
13 jours	0 gr. 005	0 gr. 014
120 —	0 009	0 025

Action de l'acide acétique. — La solution acétique employée titrait exactement 2,28 o/o d'aide acétique monohydrate. La tôle d'aluminium se recouvrait d'un léger enduit noirâtre qui disparaissait du reste au moindre frottement du pouce. Pas d'attaques locales ; la pièce avait perdu au bout de 120 jours : 0 gr. 029 sur 5 grammes, ce qui fait 0 gr. 078 pour 100 centimètres carrés.

Dans des conditions semblables, l'étain chimiquement pur perd 0 gr. 30 ; et l'étain renfermant 1.88 o/o de plomb, 0 gr. 20.

Action du vinaigre.— Vinaigre blanc du commerce titrant 65 o/o d'acide acétique. Au bout de 120 jours d'immersion, la lame d'aluminium avait perdu 0 gr. 132 ; soit 0 gr. 349 pour une surface de 100 centimètres carrés.

Action de l'acide tartrique — En solution à 5 o/o. Même observation que pour l'acide acétique, mais avec moins de perte. Au bout de 60 jours, la lame avait perdu 0 gr. 016 ; soit 0 gr. 042 pour cent centimètres carrés.

Action du bitartrate de potasse.— En solution à 3 millièmes. Même remarque et même perte que pour l'acide tartrique à 5 centièmes.

Action du sulfate de soude. — Nulle.

Action de l'alcool. Dans l'alcool à 60° (l'eau-de-vie de troupe doit avoir au moins 47 centièmes d'alcool). On ne remarque rien d'anormal au bout de deux mois.

Action du tannin . — En solution en 4 o/o. Le métal se ternit et ne redevient plus brillante que par le frottement comme après l'action de l'acide acétique. La solution de tannin noircit sensiblement. Les pertes pour 120 jours sont de 0 gr. 013 et 0 gr. 033 suivant la surface considérée.

Action du vin. — Vin rouge ordinaire renfermant 9,5 o/o d'alcool. La lame ne porte aucune trace d'attaque partielle; par le frottement au pouce il se détache un enduit noirâtre et le métal a l'aspect de l'argent. La saveur du vin n'est pas modifiée.

Durée et disposition de l'expérience.	Pertes — Pour 5 gr. de tôle.	Pertes — Pour 100 cent. car.
120 jours (flacon bien bouché)	0 gr. 007	0 gr. 020
60 — (flac. ouvert vin très acide)	0 036	0 097

Action de la bière. — Bière brune ordinaire à 4 o/o d'alcool. Mêmes observations que pour le vin.

	Pertes	
Pour 60 jours (flacon plein bien bouché)	o gr.	o gr.
— (— ouvert, bière acide)	0,011	0,030

Action du cidre. — Bon cidre de Normandie. Mêmes observations que pour le vin et la bière.

	Pertes	
Pour 60 jours (flac. plein, bien bouché)	o gr. 004	o gr. 011
— (— ouvert, cidre acide)	o 020	o 055

Action du café. — Infusion de café obtenue avec 10 grammes de poudre pour 100 grammes d'eau; rien d'anormal après 48 heures; après ébullition pendant deux heures et quatre jours de contact, la perte est de o gr. 002, soit 0,006 pour cent centimètres carrés.

Action du sucre. — Dans le sirop simple, très légère perte due sans doute à l'eau.

Pour 60 jours: o gr. 004; soit 0,012 pour 100 centim. carrés.

Action du lait. — Dans le lait froid après 48 heures, il n'y a pas d'action sensible; une ébullition de plusieurs heures ne fait pas non plus varier le poids.

	Pertes	
	Pour 5 gr.	Pour 100 c.c.
Après six jours (lait aigri)	o gr. 002	o gr. 004
Après onze jours (lait caillé)	o 004	o 012

Action de l'huile d'olive. — Nulle après plusieurs mois.

Action du beurre et de l'axonge. — Nulle après plusieurs mois, même en faisant intervenir la chaleur.

Action de la soupe. — Dans les soupes maigres comme dans les soupes grasses préparée dans les casernes, il n'y a pas de perte de poids, même après ébullition et contact de vingt-quatre heures.

Action de la salive. — Quelques points d'attaque comme ceux qui se montrent dans les solutions salées, au bout de 60 jours la perte était de o gr. 007 pour 5 grammes et 0,020 pour 100 centimètres carrés.

Action de l'urine. — La lame se recouvre d'une couche d'urates. Après décapage, le métal est blanc d'argent; il y a par place quelques points légèrement corrodés.

	Pertes	
	Pour 5 gr.	Pour 100 c. c.
Après 2 jours (même urine)	o gr. 002	o gr. 007
— 8 — (—)	o 014	o 036
— 43 — (urine renouvelée)	o 022	o 058

Action de l'air et de la terre. — Une lame exposée à toutes les intempéries atmosphériques pendant 100 jours n'a pas varié de poids.

Enfoncée à o m. 15 de profondeur dans la terre d'un jardin fréquemment arrosé, elle a perdu, en 50 jours, o gr. 004 sur 5 grammes; soit 0.012 pour 100 centimètres carrés.

Action du carbonate de soude, du savon vert; de la soude et de l'ammoniaque. — Le carbonate de soude pur en solution de 5 à 10 o/o n'a pas d'action.

Le savon vert employé au nettoyage attaque le métal avec dégagement d'hydrogène. Après cinq jours, il y à une perte de o gr. 025 par 5 gr. soit o gr. 60 pour 100 centimètres carrés.

Avec la soude, l'attaque est plus active qu'avec l'ammoniaque.

	Pertes	
	Pour 5 gr.	Pour 100 c c.
Soude à o gr. 20 o/o (après 3 heures)	o gr. 065	o gr. 171
Soude à 10 o/o (après dix minutes)	o 026	o 068
Ammoniaque ordinaire (après 24 h.)	o 008	o 021

Action de l'acide phénique. — En solution alcoolique à 50 o/o, l'acide phénique n'a pas d'action sensible.

Conclusion. — Tous ces résultats sont de nature à dissiper complètement les craintes qu'avait manifestées l'Administration de la guerre à la suite des expériences de MM. Lubbert et Roscher. Actuellement, on arrive à faire de l'aluminium laminé suffisamment résistant pour la fabrication des objets qui constituent l'équipement; reste la question de prix mais outre qu'à ce point de vue l'aluminium devient de jour en jour plus abordable, les sacrifices seraient-ils si lourds dès maintenant qu'on puisse reculer longtemps encore? surtout en considération du but à atteindre, qui est l'allègement de nos soldats ou une meil-

leure utilisation de leur force de résistance, par une augmentation du nombre de cartouches qu'ils pourraient porter. Nous ne le croyons pas et nous pouvons nous considérer comme étant à la veille d'une transformation complète dans notre armement.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Mesure des forces électromotrices au moyen du téléphone, par Carl Barus (1)

Bien qu'il y ait près de dix ans que la substitution d'un téléphone à un galvanomètre dans la mesure des forces électromotrices par les méthodes de réduction à zéro ait été proposée par M. Ledeboer (2), cette substitution n'a guère été pratiquée jusqu'ici. Cependant, les résultats obtenus par les différents expérimentateurs qui ont étudié la sensibilité du téléphone semblent indiquer que la précision des mesures ne serait nullement diminuée par cette substitution, et il est évident que la commodité des expériences serait considérablement accrue, l'emploi des galvanomètres très sensibles offrant toujours quelques difficultés pratiques.

Cette dernière considération engagea M. Carl Barus à essayer de substituer un téléphone au galvanomètre qu'il emploie pour la détermination des températures au moyen d'un couple thermoélectrique (3). Il y fut d'ailleurs amené récemment par certaines expériences se rapportant à la météorologie et dans lesquelles la température oscillait très rapidement par suite de la condensation. Mais contrairement à ses prévisions, il rencontra d'assez grandes difficultés pour obtenir une sensibilité suffisamment grande du téléphone et constata que le téléphone restait silencieux, de part et d'autre du zéro, dans un intervalle relativement considérable.

La disposition expérimentale employée pour étudier la grandeur de l'intervalle est représentée par la figure 1. La force électromotrice à mesurer est en e et est reliée, d'une part, au téléphone T et, d'autre part, à un ressort A. En E se trouve la force électromotrice étalon, plus grande que la force électromotrice e. R et r sont des boîtes de résistances ; C une clef formée par une lame de cuivre, munie de dents à sa partie supérieure et que l'on peut déplacer horizontalement ; son mouvement est guidé par une tige D maintenue entre deux anneaux ; un ressort en spirale s et un ressort B complètent l'appareil. La forme de la clef est telle que le circuit E R a r s C B de la pile étalon se trouve fermé avant le circuit e T a r s C A de la force électromotrice à mesurer afin d'éviter la polarisation de celle-ci. Si les résistances r et R sont suffisamment grandes par rapport aux résistances des autres parties du circuit, le téléphone doit rester silencieux pour les valeurs de r et R satisfaisant à la relation.

$$\frac{e}{R} = \frac{r}{R+r} \qquad (1)$$

Pour empêcher que le bruit des chocs du ressort BA contre les dents de la clef n'influençât le téléphone, on avait soin que le ressort ne rencontrât que la partie supérieure d des dents; en outre, on plaçait la clef à une grande distance du téléphone, et on la faisait mouvoir avec une corde. De plus, pour augmenter la sensibilité du téléphone, la chambre à air de cet instrument était mise en communication avec l'oreille par un tube de caoutchouc.

Dans certaines expériences, l'auteur employait le téléphone double que montre la figure 2. Ce téléphone est formé d'un aimant en fer à cheval A sur les pôles duquel sont fixées deux pièces polaires B et B′ supportant chacune une bobine a et a'. Entre ces bobines est disposée une boîte CC ayant pour parois deux membranes téléphoniques très minces ; l'air de cette boîte est mis en communication avec l'oreille par le tube D. Outre que ce télé-

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 558-567 ; décembre 1894.

(2) *La Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 125.

(3) *Beiblætter*, t. IX, p. 357 ; 1885.

phone double était plus sensible que les téléphones ordinaires il présentait l'avantage de permettre de changer rapidement les bobines.

L'auteur a également essayé d'augmenter la sensibilité du téléphone en combinant cet instrument avec un contact microphonique. Il a reconnu que la meilleure disposition consistait à souder au centre du diaphragme d'un téléphone Bell un fil fin de platine en contact avec un petit morceau de charbon suspendu par un ressort très sensible et à intercaler ce contact microphonique dans un circuit contenant quatre éléments Leclanché et un second téléphone. Mais le degré de sensibilité de cette disposition variait trop rapidement pour qu'on put l'employer dans les mesures.

Le tableau suivant donne une partie des résultats obtenus. Les points d'interrogation contenus dans la première colonne indiquent la cessation du son téléphonique. Dans la seconde colonne sont inscrites les intensité du courant i' traversant le téléphone évaluées en micro-ampères et calculées au moyen de la formule

$$i' = \frac{E}{R} \frac{\frac{e}{E} - \frac{r}{R+r}}{\frac{r'}{R} + \frac{r}{R+r}} \qquad (2)$$

où r' est la résistance du circuit dérivé contenant le téléphone et la force électromotrice e. La troisième contient les valeurs du plus petit accroissement d'intensité δi qui fait réapparaître le son téléphonique de chaque côté de l'intervalle de silence de l'intrument, ensuite celles de la variation d'intensité $\Delta i'$ pendant cet intervalle et enfin les rapports de ces quantités. Elles sont déduites des quatre intensités de la seconde colonne par les relations.

$$\delta i' = \frac{1}{2}(i'_1 - i'_2) + (i'_4 - i'_3) \qquad \Delta i' = i'_2 + i'_3$$

La force électromotrice étalon E est donnée par le premier nombre de la quatrième colonne ; le second nombre donne le rapport $\frac{e}{E}$ calculé par la formule (1), où l'on remplace R et r par les moyennes arithmétiques des valeurs de ces résistances qui correspondent à la première et la dernière valeurs de i' de la seconde colonne. Enfin, dans la dernière colonne se trouvent quelques remarques sur l'appareil.

Il résulte de ce tableau que, dans tous les cas, la variation Δi de l'intensité du courant, depuis le moment où le son cesse d'être perceptible, jusqu'à celui où il redevient perceptible, est relativement grande par rapport à la variation d'intensité δi qui correspond au passage d'un son douteux à un son nettement perceptible ; le rapport de ces quantités est en effet au moins égal à 5 . On voit également que la variation Δi décroit un peu quand la sensibilité du téléphone augmente, qu'elle ne dépend guère de l'épaisseur de la membrane du téléphone, quand celle-ci est comprise entre 0,015 cm. et 0,030 cm. enfin qu'elle dépend de l'écartement des dents de la clef. En opérant avec plusieurs clefs, il a été reconnu que les meilleurs résultats étaient obtenus avec des dents dont les sommets sont écartés de 0,5 cm.

Il est difficile de s'expliquer pourquoi le téléphone reste muet pour des intensités de courants comprises entre des limites relativement grandes par rapport à la variation qui rend le son perceptible. On ne peut attribuer ce fait à l'inertie de la membrane, car le tableau montre que Δi ne dépend guère de l'épaisseur de cette membrane d'ailleurs, on sait qu'en général, la sensibilité d'un téléphone ne décroit pas aussi vite que l'épaisseur de la membrane augmente et qu'on a pu entendre des sons avec des noyaux téléphoniques placés devant des plaques de 15 cm. d'épaisseur. L'auteur l'attribue à une inertie moléculaire nécessitant une force plus grande pour la mise en mouvement des molécules en repos que pour une augmentation notable du mouvement des molécules déjà en mouvement. Il y aurait là quelque chose d'analogue à ce qui a lieu dans le frottement de deux corps : il faut, pour communiquer une certaine vitesse à l'un des corps partant du repos, une force beaucoup plus grande que celle qui est nécessaire pour donner à ce corps déjà en mouvement, une variation de vitesse égale.

Son	i'	$\delta i'$ $\Delta i'$ $\delta i'/\Delta i$	E e/E R r	Remarques
perceptible ? ? perceptible	— 2,9 — 3,8 + 3,8 — 2,8	0,9 7,6 9	2 0,503 4950 5000	Téléphone double clef à dents fines. Bobines de 1200 tours.
perceptible ? ? perceptible	— 2,4 — 1,9 + 2,0 + 2,4	0,4 3,9 9	2 0,490 10400 10000	id
perceptible ? ? perceptible	— 2,2 — 2,0 + 1,9 + 2,2	0,2 3,9 15	2 0,492 20700 20000	id
perceptible ? ? perceptible	— 1,5 — 1,3 + 1,2 + 1,5	0,2 2,5 10	2 0,501 20500 20000	id Nouvelle chambre à air.
perceptible ? ? perceptible	— 1,3 — 1,1 + 1,1 + 1,3	0,2 2,2 9	2 0,500 20050 20000	id Bobines de 3,000 et 3,600 tours.
perceptiple ? ? perceptible	— 0,9 — 0,6 + 0,6 + 0,9	0,2 1,2 5	2 0,500 20050 20000	id Bobines plus proches des membranes.
perceptible ? ? perceptible	— 0,43 — 0,31 + 0,31 + 0,43	0,12 0,62 5,2	2 0,501 19970 20000	id Nouvelle clef à dents très espacées.
perceptible ? ? perceptible	— 0,9 — 0,6 + 0,6 + 0,9	0,2 1,2 5	2 0,500 20050 20000	id Bobines reliées en dérivation
perceptible ? ? perceptible	— 4,4 — 4,0 + 3,7 + 4,2	0,5 7,7 16	2 0,486 21300 20000	Téléphone Bell de faible résistance membrane de 0,02 cm d'épaisseur.
perceptible ? ? perceptible	— 4,2 — 3,7 + 3,5 + 4,0	0,5 7,2 15	2 0,489 21000 20000	Téléphone Bell de grande résistance membrane de 0,02 cm d'épaisseur
perceptible ? ? perceptible	— 2,0 — 1,5 + 1,4 + 1,9	0,5 2,9 6	2 0,494 20500 20000	id membrane de 0,016 cm d'épaisseur.
perceptiple ? ? perceptible	— 2,1 — 1,6 + 1,6 + 2,0	0,5 3,2 7	2 ...... 20350 20000	id membrane de 0,018 cm
perceptible ? ? perceptible	— 1,0 — 0,8 + 0,7 + 1,0	0,2 1,5 6	2 0,501 20000 20000	id membranes de 0,03 cm et 0,016 cm en étain.

L'auteur fait remarquer que d'après ses expériences, le courant le plus faible, capable de donner un son téléphonique, est au moins 10^{-7} ampère. Ce nombre est beaucoup plus grand que ceux qu'ontobtenus MM. De la Rue, Brough, Pellat, Ferraris, etc. ; il concorde avec ceux qu'a trouvé lord Rayleigh pour des fréquences variant entre 300 et 500 [1] ; toutefois, il convient de faire observer que les conditions des expériences de ce dernier physicien diffèrent complètement de celles des expériences de M. Barus et qu'il n'est guère possible de comparer leurs résultats.

Si maintenant on examine les résultats au

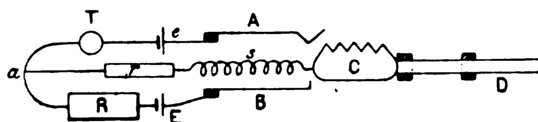


Fig. 1.

point de vue de l'exactitude des mesures de forces électromotrices au moyen du téléphone, on constate que dans ces mesures on peut compter sur une approximatiou de 1/1000e environ pour les forces électromotrices de l'ordre du volt. En effet si on calcule le rapport $\frac{e}{E}$ en remplaçant dans (1) R et r par les valeurs qui correspondent à un son nettemeut perceptible et à un son douteux de part et

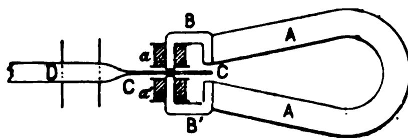


Fig. 2.

d'autre de l'intervalle où le téléphone reste muet, on trouve dans un cas

4990, 4996, 5028, 5034,

nombres qui indiquent que la valeur vraie du rapport ne peut différer de la moyenne 5 012 des extrêmes que de quelques unités.

Mais cette approximation n'est pas suffisante suivant l'auteur, pour la détermination des températures au moyen de la force électromotrice d'un couple thermoélectrique platine-platine iridié. Ains: dans une expérience il a trouvé

Son perceptible	e = 9800 microvolts	moyenne 9480 volts
?	9752 —	
?	9212 —	
Son perceptiple	9170 —	

valeurs auxquelles correspondent les températures

837°, 834°, 795° 792°; moyenne 815° C

Il estime que l'approximation est de 2 ou 3° C. Mais comme cette expérience a été faite dans une chambre où régnait le silence le plus absolu, il ne croit pas que, dans les conditions ordinaires, on puisse compter sur approximation plus grande que 10° lorsque la température à déterminer est voisine de 1000° C.

J. B.

(1) *L'Eclairage Electrique*, t. I, *p.* 224.

Explication possible de la variation séculaire du magnétisme terrestre, par Arthur Schuster [1].

« Il y aurait grand intérêt à savoir si nous devons considérer l'espace interplanétaire comme bon conducteur ou comme mauvais conducteur de l'électricité. S'il est bon conducteur, le magnétisme produira, à cause de la rotation de celle-ci, des courants induits qui réagiront sur la terre de deux façons différentes. Il y aura, en premier lieu, un effet mécanique tendant à accroître la durée du jour et, en second lieu, un effet magnétique tendant à déplacer l'axe magnétique. L'objet de cette communication est de donner les résultats de quelques calculs numériques se rapportant à la grandeur et à la nature de ces réactions.

« Le problème est intéressant même en dehors de ses quelques applications au magnétisme terrestre. Etant donnée une sphère magnétique tournant dans un milieu conducteur, quelles sont les forces mécaniques et magnétiques agissant sur la sphère et résultant des courants induits dans le milieu ?

« La solution mathématique est facilement obtenue à l'aide des équations de Lamb pour

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

les courants induits dans les conducteurs sphériques. Sans entrer dans aucun détail de calcul, j'indiquerai ici les principaux résultats dans le cas où la sphère est uniformément magnétisée autour d'un axe ne coïncidant pas avec l'axe de rotation.

« Si le milieu est parfaitement conducteur ou bien parfaitement isolant, il ne se produira aucun effet mécanique tendant à diminuer la vitesse de rotation ; mais pour une conductibilité finie il y aura un couple s'opposant à la rotation et prenant une valeur maximum pour une certaine résistance spécifique du milieu.

Si R désigne le rayon de la sphère, ω la vitesse angulaire, la résistance spécifique ρ produisant le retard maximum est donnée par la relation

$$\rho = 1{,}4\ R^2\ \omega,$$

le facteur numérique étant seulement approximatif.

« Pour la terre,

$$R = 6{,}4 \times 10^8, \qquad \omega = 7{,}27 \times 10^{-5}\,;$$

donc

$$\rho = 4{,}7 \times 10^{13}.$$

« La résistance indiquée par ce nombre est telle que si une différence de potentiel de 4,7 volts existait entre les deux côtés d'une plaque de 1 cm. d'épaisseur ayant cette résistance, il se produirait un ceurant de 10^{-4} ampères. Je ne conais aucun fait permettant de nier la possibilité d'une telle résistance, qui est d'ailleurs compatible avec l'extrême ténuité de la matière qui doit exister dans les espaces inter planétaires.

« Le second point à considérer est la valeur réelle du couple résistant. En unités C. G. S., et pour une sphère de même grandeur et de même moment magnétique que la terre, elle est $1{,}9 \times 10^{24}$. Si ce couple agissait continuellement il diminuerait la vitesse de rotation de la terre de une seconde par jour en 14 000 années. Les anciennes observations d'éclipses solaires montrent que le mouvement de rotation de la terre se ralentit, mais il n'est pas possible d'en déduire la valeur de ralentissement. Jusqu'ici on a considéré deux causes capables d'altérer la durée du jour : d'une part, le mouvement des marées qui tend à l'augmenter ; d'autre part, la contraction de la terre qui tend à la diminuer. A ces causes nous devons donc ajouter la diminution de vitesse possible due à la conductibilité du milieu environnant.

« Le couple magnétique maximum calculé ci-dessus est environ six fois plus grand que celui qu'à donné George Darwin pour tenir compte du frottement dû aux marées et il aurait dû produire un effet très marqué depuis l'origine des temps historiques. Mais, à ma connaissance, nous n'avons aucune donnée relative à la contraction de la terre. Si cette contraction est telle que le rayon terrestre diminue de un pied par siècle, son effet contrebalancerait l'effet maximum que pourrait produire le couple magnétique. D'ailleurs, il est très improbable que la conductibilité de l'espace soit juste celle qui donne lieu à l'effet maximum. Si la conductibilité est 100 fois moindre, le couple résultant serait égal à la centième partie du couple maximum et l'effet de ce couple ne pourrait jusqu'ici être séparé des autres causes tendant à modifier la durée du jour. La conductibilité de l'espace peut donc varier entre des limites très larges sans qu'elle exerce sur la durée du jour un effet appréciable depuis l'origine des temps historiques.

« Si nous portons maintenant notre attention sur les réactions magnétiques, nous trouvons qu'elles ont pour effet de déplacer l'axe magnétique par rapport à l'axe géographique, le déplacement s'effectuant de l'est à l'ouest. Si la terre se comportait comme une sphère d'acier ne recevant aucun choc et conservant la même température, un certain déplacement permanent de l'axe magnétique terrestre se produirait donc, mais il ne pourrait expliquer la variation séculaire observée du magnétisme de la terre. Le déplacement de l'axe magnétique terrestre, s'il est dû à la conductibilité du milieu environnant, exige un changement

continu du magnétisme à l'intérieur de la terre. Une explication probable de ce changement se présente d'elle-même dans le refroidissement séculaire de la terre, refroidissement qui permet à des quantités de plus en plus grandes de fer de se magnétiser. Dans ce fer vierge la distribution du magnétisme se produira sous l'influence des forces magnétiques agissant sur lui et un déplacement continuel de l'axe pourra en résulter. Il faut avouer toutefois que, même en tenant compte de cette explication, il est difficile de voir pourquoi une rotation de l'axe peut se continuer pendant plusieurs révolutions. Quelque lumière pourrait être jetée sur cette question par une recherche expérimentale sur l'effet qu'une pression considérable peut exercer sur la température à laquelle le fer perd ses propriétés magnétiques.

« Si la variation séculaire est liée à la conductibilité de l'espace, toute chose affectant cette dernière quantité, doit affecter la vitesse de la variation. J'ai, en plusieurs occasions, exprimé l'opinion que les curieux effets terrestres accompagnant une recrudescence dans l'activité des taches solaires peuvent être dues à un accroissement de la conductibilité électrique aux époques où ces taches sont nombreuses. Lorsque, il y a deux ans, l'explication développée ci-dessus se présenta à mon esprit, j'examinai si la variation séculaire était plus rapide pendant la période d'activité des taches. Je trouvai, à la vérité, une coïncidence remarquable entre les années où la variation séculaire était grande et celles où les taches étaient nombreuses ; mais cependant le parallélisme des deux phénomèmes ne me semble pas suffisant pour attirer l'attention sur ce fait. Récemment, je constatai que la même coïncidence avait été remarquée par Liznar, je crois. Si elle se trouvait établie par de nouvelles recherches la théorie de la variation séculaire exposée précédemment serait digne d'attention. Qu'il y ait des effets magnétiques appréciables dus aux courants électriques extérieurs à la terre, peut être établi par une analyse des forces magnétiques à la surfacs de la terre. A. Schmidt et Neumayer ont déjà tiré profit de cette analyse et je me propose de reprendre les calculs en faisant intervenir les forces extérieures.

« Les résultats de cette investigation peuvent se résumer ainsi :

« 1° Les réactions mécaniques sur la terre des courants induits dans l'espace, supposé conducteur de l'électricité, et dus à la rotation du magnétisme de la terre sont insuffisantes pour produire une augmentation de la durée du jour appréciable depuis l'origine des temps historiques, à moins que la conductibilité se trouve comprise entre certaines limites très rapprochées. L'absence d'aucun effet sensible sur la durée du jour ne peut donc être considérée comme un argument contre l'hypothèse de la conductibilité de l'espace.

« 2° Les réactions magnétiques des mêmes courants, ajoutées à l'effet du refroidissement séculaire des masses de fer intérieures de la terre, tendent à produire un déplacement qui est du même genre que celui qu'on observe dans la variation séculaire. Mais il est très douteux que cette variation puisse s'expliquer quantitativement de cette manière. »

J. B.

Sur une relation entre la capacité inductive et la constitution chimique des diélectriques, par B. Thwing (¹).

La méthode employée par l'auteur offre l'avantage de permettre de déterminer rapidement la capacité inductive spécifique des diélectriques. Elle est fondée sur cette propriété que, si deux systèmes de conducteurs A_1 et A_2 ont la même self induction, leurs capacités C_1 et C_2 seront égales quand l'un et l'autre système seront en résonnance avec un troisième système A_3 quelles que soient la self induction et la capacité de ce dernier, propriété qui résulte de ce que la période des oscillations électriques d'un système ne dépend, d'après la formule de Thomson, que de la self-induction et la capacité de ce système.

(¹) *The Physical Review*, t. II, p. 35-53, 1894.

Pour appliquer cette méthode il faut : 1° un circuit primaire comprenant un condensateur à air de capacité variable et une bobine d'induction de dimensions moyennes ; 2° un circuit secondaire renfermant un condensateur à air de capacité variable pouvant être remplacé par un condensateur à lame diélectrique ; 3° un moyen convenable pour mesurer la variation de l'intensité des courants circulant dans le secondaire quand on fait varier la capacité de ce secondaire.

Cette dernière mesure s'effectue avec un dynamomère imaginé par Hertz et modifié par l'auteur. La figure 1 représente cet instrument. Il se compose d'un fil d'acier *cd* de 0,86 mm. de diamètre portant un miroir *m* et aux extrémités duquel sont soudés deux fils d'acier très fins *de* et *cf*. Ce dernier est attaché à une vis de torsion T ; *de* est fixé inférieurement d'une manière invariable. Aux extrémités d'un même diamètre du gros fil *cd* sont soudées les extrémités de deux fils de maillechort *a* et *b* de 0,12 mm. de diamètre. Au moyen de T on tord les fils *cf* et *de* de manière à bien tendre *a* et *b*. Si des courants sont alors développés dans *a* et *b*, ces fils s'échauffent et s'allongent et ces allongements permettent au miroir de tourner. La rotation qu'il éprouve est mesurée par la méthode optique. Le courant d'un élément Planté passant dans le fil *ab* donnait un déplacement de 250 divisions de l'échelle ; dans les expériences avec les oscillations électriques, les déplacements étaient compris entre 100 et 250 divisions.

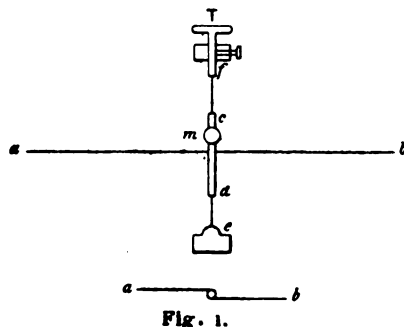


Fig. 1.

La figure 2 indique la disposition des circuits. A_2 est le circuit primaire relié à la bobine de Ruhmkorff R et contenant un condensateur C_3 ainsi qu'un interrupteur à étincelles ; A_1 est le circuit secondaire comprenant un condensateur C_1 et le fil *ab* du dynamomètre. Ces deux circuits ont la forme de carrés de 60 cm de côté et sont formés d'un fil de 1 mm. de diamètre ; ils sont placés parallèlement et à une distance de 15 cm l'un de l'autre.

Le condensateur primaire C_3 (fig. 3) consiste en deux plateaux circulaires de zinc de 40 cm de diamètre. L'un est fixe, l'autre est attache à un support que l'on peut faire glisser sur deux tiges de verre RR ; ce support porte un index mobile devant une règle divisée. Dans les expériences, un parallélisme rigoureux des plateaux n'était pas indispensable. mais il était nécessaire que leur position relative soit déterminée.

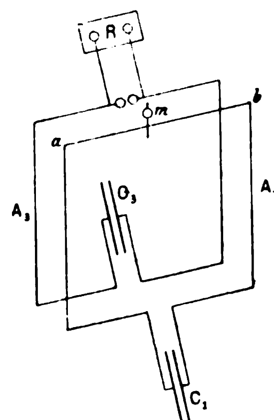


Fig. 2.

Le condensateur secondaire était un condensateur de Kohlrausch dont les plateaux avaient 15 cm de diamètre : la distance de ces plateaux pouvait être mesurée à un centième de millimètre près. La capacité était calculée par la formule de Kirchhoff

$$C_1 = \frac{R^2}{4a} + \frac{R}{2\pi}\left(\log\frac{8\pi R}{a} - 1\right),$$

pour toutes les valeurs de la distance *a* des plateaux comprises entre 0,1 mm et 30 mm.

Dans les premières expériences faites sur les diélectriques liquides l'auteur employait un condensateur sphérique formé de deux

sphères concentriques entre lesquelles on versait le liquide. Cette disposition exigeant une assez grande quantité de liquide, M. Thwing se servit ensuite d'un condensateur circulaire formé de deux cylindres concentriques *a* et *b* (fig. 3) fixés par une monture d'ébonite *e*; l'entonnoir *c* est fermé par un bouchon *s* percé d'un trou très petit permettant à l'excès de liquide de s'échapper.

Trois condensateurs de ce genre ont été construits ; le tableau suivant donne les valeurs de *l*, *a* et *b* pour ces condensateurs. La troisième colonne indique les valeurs du volume annulaire; elles montrent qu'il suffit de 3,37 cm^3 de liquide pour faire une expérience. La dernière colonne indique les valeurs limites de la capacité inductive spécifique qui peuvent être mesurées avec chaque condensateur.

N°	*l*	volume	*b*	*a*	Capacités spécifiques limitées
I	1	1,55	7,15	1,25	de K = 15 à K = 100
II	2	2,45	7,15	3,48	de K = 5 à K = 25
III	4	3,37	7,15	5,08	de K = 1 à K = 15

Les diélectriques solides étaient mis sous forme de plaques minces toutes les fois que cela était possible. Ces plaques étaient placées entre deux plateaux circulaires ayant des diamètres de 3 à 12 cm. Mais lorsque la mise en plaques minces présentait de trop grandes difficutés, la subtance diélectrique était réduite en poudre et cette poudre était introduite entre les armatures du condensateur cylindrique employé pour les liquides ; on remplissait ensuite d'un diélectrique liquide, ordinairement l'alcool ou l'éther, l'espace compris entre les particules solides.

Les expériences étaient conduites de la manière suivante :

1° Les plateaux du condensateur primaire étant à une certaine distance l'un de l'autre, on faisait varier la distance des plateaux du condensateur de Kohlrausch placé dans le circuit secondaire et l'on notait la déviation du dynamomètre pour chacune des distances. Les distances des plateaux du condensateur secondaire étaient portées en abcisses, les déviations correspondantes en ordonnées. En joignant les points ainsi déterminés, on obtenait une courbe permettant de déterminer avec beaucoup d'exactitude la distance correspondant au maximum de déviation. Cette distance étant connue, on en déduisait, au moyen de la formule Kirchhoff, la capacité C du condensateur secondaire qui, pour une certaine valeur *d* de la distance des plateaux du primaire, donnait lieu à une déviation maximum.

2° On répétait les mêmes déterminations pour d'autres valeurs de *d* et l'on construisait une courbe donnant la variation de C en fonction de *d*.

3° On remplaçait dans le circuit secondaire, le condensateur à lame électrique et, en faisant

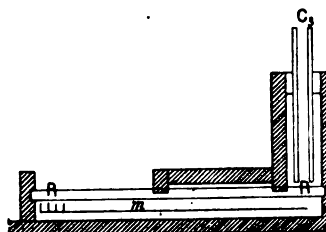


Fig. 3.

varier la distance *d*, on cherchait pour quelle valeur de cette distance la direction du miroir du dynamomètre devenait maximum. D'après le principe qui sert de base à la méthode, la capacité C_2 du condensateur à diélectrique était alors égale à la capacité C_1 du condensateur de Kohlrausch donnant la déviation maximum avec la même distance entre les plateaux du condensateur primaire. Cette capacité pouvait donc être déduite de la courbe construite précédemment.

La capacité C_2 étant ainsi déterminée, la capacité inductive spécifique *R* de la substance étudiée se déduisait de la formule

$$K = \frac{C_2}{C}$$

C désignant la capacité du même condensateur, le milieu diélectrique étant remplacé par de l'air. Dans le cas où le condensateur

secondaire était formé de deux plateaux circulaires. C était calculé par la formule de Kirchhoff. Quand le condensateur était cylindrique, C était calculé par la formule

$$C = \frac{1}{2} \frac{l}{\log \frac{a}{b}}$$

Mais dans ce dernier cas, il y avait lieu de tenir compte de l'influence des extrémités des cylindres qui a pour effet d'augmenter la capacité du condensateur d'une quantité x. Pour avoir x, l'auteur déterminait la capacité réelle $C + x$ de chaque condensateur cylindrique à lame d'air par la méthode expérimentale qui vient d'être exposée, et comme C était donné par la formule précédente, on avait x par différence. La capacité inductive spécifique de la matière contenue entre les cylindres était alors donnée par

$$K = \frac{C_1 - x}{C}$$

Lorsqu'on prenait un condensateur cylindrique pour déterminer la capacité des solides,

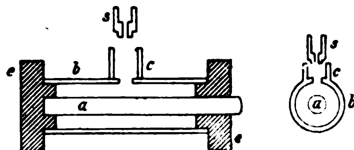


Fig. 4.

la formule précédente ne donnait que la capacité inductive du mélange du solide et du liquide ajouté pour remplir les vides, Mais si on appelle V_s le volume occupé par le solide, V_e celui qui est occupé par le liquide, V le volume total, K_s et K_e les capacités inductives spécifiques du solide et du liquide, on a

$$K = \frac{V_l K_l + V_s K_s}{V}$$

d'ou

$$K_s = \frac{VK - V_l K_l}{V_s}.$$

Les volumes V_s et V_e se déduisant des poids du solide et du liquide introduits dans l'espace annulaire et des poids spécifiques de ces substances.

Un grand nombre de substances solides et liquides ont été étudiées par l'auteur. Le tableau I donne les valeurs trouvées pour les solides sous forme de plaques ; le tableau II se rapporte aux solides étudiés au moyen du condensateur cylindrique. On remarquera que les valeurs trouvées pour la glace ne sont pas identiques ; l'auteur attribue ce désaccord à ce que, lorsqu'on employait une lame de glace, une couche d'eau pouvait se trouver entre la lame et les plateaux du condensateur.

TABLEAU I

Substance	Plateaux a	Plateaux R	K
Paraffine	0,42	4,05	2,11
	0,66	4,05	2,18
Ebonite	0,42	4,05	2,71
Bois de chêne	2,61	6,00	2,93
Bois de sapin	1,58	6,00	2,95
Papier	0,6	4,05	2,[illegible]2
Porcelaine	0,8	4,05	5,84
Verre de miroir	0,1	4,05	6,20
Marbre blanc	1,93	4,05	6,13
Marbre noir	1,86	4,05	6,15
Spath d'Islande	1,4	2,0	7,40
	1,4	2,5	7,34
Sel gemme	0,68	2,[illegible]	5,81
Gypse	0,54	2,0	5,61
Glace (à — 2°)	1,50	4,05	[illegible],36
Sucre de canne	1,4	2,0	4,19

TABLEAU II

Substance	Liquide ajouté	K
Glace (à — 5°)		2,85
Acéto phénol		16,21
Acide acétique crist.		2,79
Sable	Ether	7,43
Chlorate de potassium	—	6,18
Carbonate —	—	5,62
Sulfate —	—	6,45
Sulfate de cuivre	—	5,46
Oxyde —	Alcool	18,10
Oxyde de fer	Ether	14,20
Nitrate de baryum	—	9,15
Sulfate —	—	11,40
Carbonate de plomb	—	18,58
Oxyde —	Alcool	25,90
Sulfure —	—	17,92
Sucre de canne	Ether	4,13

Le tableau III indique les valeurs trouvées pour les liquides. Dans le tableau IV se trouvent les valeurs de la capacité inductive spécifique de l'eau à diverses températures ; les valeurs indiquent nettement que la capacité inductive spécifique de ce liquide présente un maximum vers 4°.

TABLEAU III

Substance	K	Substance	K
Eau	75,50	Aldéhyde	18,55
Glycérine	56,20	— salicylique	19,21
Sucre de canne (dans l'eau)	52,[illegible]0	— propylique	14,11
Sucre de canne (dans l'alcool)	55,00	— benzénique	14,48
Alcool methylique	31,05	— valérique	11,76
— éthylique	25,92	— cuminique	10,68
— propylique	20,45	Chloral	5,47
— isopropylique	19,82	Acétone	21,85
— amylique	14,62	Méthyléthylacétone	18,44
— allylique	21,60	Chlorure d'acétyle	25,30
Acide tartrique	35,90	Méthylpropylacétone	18,75
— formique	62,00	Acétophénone	16,2[illegible]
— lactique	20,90	Dipropylacétone	12,44
— acetique	10,30	Méthylhexylacétone	10,42
— propionique	5,50	Nitrobenzine	32,19
— butyrique	[illegible],16	Nitrométhane	56,36
— valérique	3,06	Nitrotoluène	26,58
Créosote	11,75	Azotate d'éthyle	17,72
Toluène	2,37	Ether éthylique	4,27
Ess. de térébenthine	2,28	Chloroforme	3,95
Sulfure de carbone	2,50	Bromoforme	7,42

TABLEAU IV

Temp. de l'eau	K	Temp. de l'eau	K
0°	79,46	15°	75,50
2°	80,84	20	73,92
4	85,20	27°	72,7[illegible]
6°	80,84	4[illegible]°	69,80
7°	79,40	65°	61,32
9°	77,95	80°	60,5[illegible]
12°	76,20	8[illegible]°	57,90

Quelques autres tableaux donnent les capacités inductives spécifiques de différents mélanges en diverses proportions. Des nombres qu'ils renferment, il résulte :

1° La capacité inductive spécifique des mélanges d'eau et d'alcools éthylique, méthylique ou propylique, et d'un mélange d'eau et de glycérine diminue à mesure que la proportion d'alcool ou de glycérine augmente ; les courbes représentatives présentent des points de rebroussement.

2° Celle d'un mélange d'alcool étylique et d'alcool méthylique décroit d'abord assez rapidement quand la proportion du dernier alcool augmente de 0 à 70 pour 100 ; pour une plus grande proportion d'alcool méthylique la capacité décroit encore mais très lentement ; la courbe représentative ne présente pas de point de rebroussement.

3° Quand on ajoute de l'acide autique à de l'eau, la capacité diminue jusqu'à ce que la proportion d'acide soit de 40 pour cent ; elle demeure stationnaire et semble même augmenter quand la proportion s'accroit jusqu'a 65 pour 100 environ ; elle passe ensuite très rapidement de la valeur 61 à la valeur 10,30, ce dernier nombre correspondant à l'acide anhydre ; la courbe représentative possède deux points de rebroussement.

L'auteur a essayé de représenter les résultats qu'il a obtenus par une formule de la forme

$$K = \frac{D}{M}(a_1 K_1 + a_2 K_2 + \ldots)$$

où D est le poids spécifique de la substance considérée, M son poids atomique, K^1, K^2.., des constantes relatives à chaque élément ou groupement atomique, a_1, a_2, le nombre d'atomes de l'élément dans la molécule. En utilisant les valeurs expérimentales trouvées pour les carbures d'hydrogène, l'auteur en a conclu

$$K_H = 2,6, \qquad K_C = 2,6 \times 12 = 31,2$$

et en utilisant les nombres obtenus avec quelques substances contenant le groupement O H ou le groupement CO, il a déduit

$$K_{(OH)} = 1356, \qquad K_{(CO)} = 1520$$

Opérant de même pour déterminer les constantes des divers éléments ou groupements

atomiques entrant dans les substances étudiées il a pu calculer ensuite par la formule ci-dessus les capacités inductives spécifiques de ces substances. Les nombres ainsi trouvés présentent avec les nombres donnés par l'expérience un accord remarquable.

Dans le cas des solides et de quelques liquides ne contenant aucun groupement atomique, les capacités atomiques paraissent être proportionnelles aux poids atomiques, de sorte que la formule prend la forme $K = k\,D$, où $k = K_H$. Le tableau qui donne des valeurs ainsi calculées et les valeurs expérimentales montre un accord très satisfaisant entre ces valeurs. Toutefois pour les composés du soufre la valeur théorique doit être divisé par 2.

J.B.

Sur la résistance spécifique du cuivre et de l'argent, par T. C. Fitzpatrick [1].

Dans une communication faite en 1890 à la session de Leeds de l'Association [2], l'auteur montrait que, conformément aux résultats obtenus par Matthiessen de 1860 à 1864, la résistance spécifique du cuivre chimiquement pur dépend, dans une large mesure, de l'état moléculaire de l'échantillon sur lequel on opère. Les récentes déterminations faites par divers expérimentateurs et principalement par l'auteur, confirment cette conclusion pour le cuivre et l'étendent au cas de l'argent.

En mesurant à diverses époques la résistance de fils de cuivre l'auteur a constaté que celle des fils durcis par l'étirage éprouve une variation relativement grande avec le temps, tandis que celle des fils bien recuits conserve très sensiblement la même valeur. Ainsi, la résistance d'un fil de cuivre de 1 mètre de longueur et pesant 1 gramme présentait, à la température de 18° C, les valeurs suivantes :

Juillet 1890........	1.528	$\times 10^5$	unités CGS
Août 1891..........	1.525	—	—
Mars 1892..........	1.522	—	—
Janvier 1894........	1.520	—	—
Juillet 1894.........	1.519	—	—

Un fil de cuivre bien recuit, de la même longueur et du même poids, avait pour résistance, à la même température

Octobre 1889.......	1.488	$\times 10^5$	unités CGS
Juillet 1894.......	1.487,8	—	—

Comme, dans la construction des instruments, il y a intérêt à ce que la résistance des fils qui entrent dans ces instruments ne varie pas avec le temps, il est utile de connaître le procédé de recuit donnant les meilleurs résultats. En 1890, l'auteur recuisait ses fils en les chauffant pendant 24 heures au milieu d'asbeste ou de poussier de charbon contenu dans un vase de cuivre. Depuis il a obtenu d'aussi bons résultats par un procédé plus commode consistant à chauffer le fil dans un bain de paraffine à 220° et à le laisser refroidir lentement.

En opérant sur des fils d'argent, l'auteur a trouvé pour leurs résistances à 18° C, rapportées à un fil d'argent de 1 mètre de long et du poids de 1 gr.

		Durcis par le tirage	Recuits
Argent I	(a)	1.816 $\times 10^5$........ ...	1.739 $\times 10^5$
	(b)	1.814 —	1.741
	(e)	1.816 —	1.721
Argent II		1.799 —	1.722
Argent III pur	(a)	1.777 —	1.666
	(b)	1.773 —	1.666
	(c)	1.767 —	—

Les fils étaient recuits en les chauffant au milieu d'asbeste ou de poussier de charbon, un bain de paraffine n'ayant pas donné de bons résultats.

L'auteur a déterminé les densités de chacun de ces fils ; il a trouvé des valeurs variant de 10,496 à 10,511 pour les fils I, recuits ou non, et des valeurs comprises entre 10,49 et 10,50 pour les fils III. Adoptant la valeur moyenne 10,495 pour la densité de l'argent, il a déduit des nombres du tableau précédents, pour la

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

(2) *La Lum. Elect.*, t. XXXVIII, p. 379.

résistance spécifique de l'argent en unités C G S, à la température de 18° C :

Fils durs	Fils recuits
1.689	1.587

Matthiessen, en prenant 10,5 pour la densité de l'argent, avait déduit de ses mesures sur des fils, 1694 pour la résistance spécifique des fils durs et 1561 pour celle des fils recuits. D'autre part, MM. Dewar et Fleming, dans leurs expériences sur la résistance des métaux purs aux basses températures (1), ont trouvé 1468 C G S pour la résistance spécifique de l'argent recuit, à 0° C., ce qui donne, en prenant 0,004 pour le coefficient de variation, 1574 à 18°.

Il résulte des nombres précédents que la résistance des fils d'argent durcis par l'étirage est plus grande que celle des mêmes fils recuits, ainsi que cela a lieu pour les fils de cuivre. Mais, tandis que pour ces derniers fils la différence de résistance entre un fil dur et un fil recuit diminue quand la pureté du métal augmente, c'est le contraire qui se produit avec les fils d'argent.

De ces divers résultats, l'auteur conclut que nous ne pouvons espérer obtenir une grande précision dans la détermination des résistances spécifiques des métaux, même si ces métaux sont purs.

J. B.

Note sur l'hystérésis du fer et de l'acier dans un champ magnétique tournant, par F. G. Baily (2).

On sait depuis longtemps que, dans les limites des expériences, la valeur de l'hystérésis du fer et de l'acier dans un champ magnétique alternatif va constamment en croissant. Mais, d'après la théorie moléculaire du magnétisme du professeur Ewing, l'hystérésis devrait, pour de grandes valeurs de l'induction, diminuer dans un champ magnétique tournant ou tout au moins présenter une diminution dans le taux de son accroissement. Les expériences de M. Baily confirment pleinement cette conséquence.

Le champ magnétique tournant est produit par la rotation d'un électroaimant. Dans le champ, est suspendue une armature de fer lamellaire. Quand on fait tourner l'électroaimant, l'armature tend à tourner par suite de l'hystérésis du fer ; un ressort en spirale s'oppose à cette rotation. Il en résulte néanmoins un petit déplacement de l'armature que l'on évalue par la rotation qu'éprouve un rayon lumineux réfléchi par un miroir fixé à l'armature ; cette rotation est proportionnelle à la valeur instantanée de l'hystérésis par révolution.

Les courbes d'hystérésis que l'on obtient commencent comme celles que l'on observe avec un champ alternatif, c'est-à-dire, s'élèvent d'abord lentement, puis plus rapidement. Mais elles présentent ensuite un maximum au-delà duquel la courbe s'abaisse rapidement. Le fer doux et l'acier trempé donnent les mêmes résultats, sauf quelques différences dues à ce que la perméabilité n'est pas la même.

Les trois états de l'arrangement moléculaire qui sont les points essentiels de la théorie moléculaire d'Ewing, sont exactement reproduits dans la courbe d'hystérésis. Le premier état, de mouvement quasi-élastique, donne une très faible hystérésis. Le second état, correspondant à des groupements moléculaires irréguliers, donne une valeur de l'hystérésis approximativement proportionnelle à l'induction. Le troisième état, voisin de la saturation et dans lequel les aimants moléculaires restent rangés régulièrement le long des lignes de force, donne une valeur rapidement décroissante de l'hystérésis.

On ne peut donc plus objecter à la théorie moléculaire, ainsi qu'on l'a fait à la suite d'ex-

---

(1) *Phil. Mag.* t. XXXVI p. 271. *La Lum. Elect.* t. XLIX *p.* 591.

(2) Extrait d'une communication faite au meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

périences avec des champs alternatifs, qu'elle conduit à des conséquences non vérifiées par l'expérience.

J. B.

Expériences préliminaires pour reconnaître si l'air s'électrise quand on le dessèche, par lord Kelvin, Magnus Maclean et Alexandre Galt (1)

Des expériences sur ce sujet furent commencées par lord Kelvin en décembre 1868, mais avant qu'aucun résultat décisif eut été trouvé, diverses circonstances rendirent nécessaire leur ajournement.

Un tube en verre en *U*, dont les branches verticales avaient 18 pouces de longueur et environ un pouce de diamètre intérieur, était fixé par la partie supérieure d'une de ses branches, à un support isolé électriquement. Cette branche était recouverte, sur une hauteur de 8 pouces environ, à l'intérieur et à l'extérieur, d'une couche de vernis à la gomme laque. L'autre branche était remplie de petits fragments de pierre ponce imbibés, soit d'acide sulfurique au maximum de concentration, soit d'eau. Un fil de platine, dont une extrémité touchait la pierre ponce, était reliée d'autre part à un électromètre à quadrants. Un cylindre métallique, suffisamment large pour entourer les deux branches du tube sans les toucher, protégeait le tube contre l'influence perturbatrice des corps environnants (parmi lesquels se trouvent en première ligne les habits de laine des expérimentateurs ou observateurs) Ce cylindre métallique était relié à la cage métallique de l'électromètre. La longueur du fil de platine comprise entre le tube en *U* et l'électromètre était suffisamment courte pour qu'il ne fût pas nécessaire de protéger ce fil par un écran métallique. Un tube de caoutchouc reliait le tube en *U* au soufflet d'un chalumeau (un tube métallique communiquant avec le cylindre de protection eût été préférable) ; on faisait fonctionner la soufflerie pendant une heure environ.

Lorsqu'on opérait avec la ponce sulfurique, la déviation de l'électromètre augmentait peu à peu et, au bout de trois quarts d'heure à une heure, correspondait à un potentiel positif d'environ 9 volts. Lorsque la pierre ponce était imbibée d'eau, on n'observait pas de déviation. Ces résultats montrent d'une manière décisive que le passage de l'air à travers le tube en *U* a pour effet d'électriser positivement l'acide sulfurique, par conséquent, d'électriser négativement l'air desséché. Une expérience, faite en employant des fragments de chlorure de calcium au lieu de ponce sulfurique, donna des résultats semblables.

En répétant ces expériences, il a été remarqué que la forte électrisation positive du tube en *U* semblait commencer soudainement, au moment où les glouglous dûs au passage de l'air dans le liquide (acide sulfurique ou solution de chlorure de calcium) rassemblé dans la coudure du tube commençaient à se faire entendre. Les auteurs se proposent de les répéter de nouveau en s'arrangeant de manière à éviter le passage de l'air à travers le liquide.

Les auteurs ont fait quelques expériences en interposant, entre la soufflerie et le tube isolé contenant de la pierre ponce imbibée d'eau, un autre tube contenant de la ponce sulfurique, de telle sorte que le premier tube se trouve traversé par de l'air artificiellement desséché. Dans ces conditions, ce tube s'électrisait négativement par le passage de l'air. Mais cette électrisation peut être due à celle que possède déjà l'air sec entrant dans ce tube puisque, d'après les premières expériences, l'air s'électrise négativement en se desséchant. Les auteurs se proposent de répéter ces expériences sur l'air desséché artificiellement, en ayant soin de ramener cet air à l'état neutre avant de le lancer dans le tube en *U*.

J. B.

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

CHRONIQUE

Voici le texte de la *loi concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques ou téléphoniques* :

« Article premier. — En dehors des voies publiques, les conducteurs électriques qui ne sont pas destinés à la transmission des signaux et de la parole, et auxquels le décret-loi du 27 décembre 1851 n'est pas dès lors applicable, pourront être établis sans autorisation ni déclaration. »

« Art. 2. — Les conducteurs aériens ne pourront être établis dans une zone de 10 mètres en projection horizontale de chaque côté d'une ligne télégraphique ou téléphonique sans entente préalable avec l'administration des Postes et des Télégraphes.

« En conséquence, tout établissement de conducteurs dans les conditions du paragraphe précédent devra faire l'objet d'une déclaration préalable adressée au préfet du département et au préfet de police dans le ressort de sa juridiction. Cette déclaration sera enregistrée à sa date et il en sera donné récépissé. Elle sera communiquée sans délai au chef du service local des Postes et Télégraphes et transmise par les soins de ce dernier à l'administration centrale.

« Le département des Postes et Télégraphes devra notifier, dans un délai de trois mois à partir de la déclaration, l'acceptation du projet présenté ou les modifications qu'il réclame dans l'établissement des conducteurs aériens.

« En cas de non-entente, les conducteurs aériens seront établis conformément à la décision du ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, et après avis du comité d'électricité visé par l'article 6 ci-dessous.

« En cas d'urgence et en particulier dans le cas d'installation temporaire, le délai de trois mois prévu au troisième paragraphe du présent article pourra être abrégé. »

« Art. 3. — Le Ministre, après avis du comité d'électricité, détermine les modifications à apporter, pour garantir les lignes, aux conducteurs existant actuellement dans la zone ci-dessus, et cela sous réserve des droits qui pourraient être acquis. Le département des Postes et des Télégraphes avisera dans un délai de six mois au plus, à partir de la promulgation de la présente loi, les exploitants dont les conducteurs devraient être modifiés. Ceux qui font usage de ces conducteurs sont tenus de se conformer aux prescriptions ministérielles dans un délai maximum d'un an à partir d'une mise en demeure adressée par le département des Postes et des Télégraphes. »

« Art. 4. — Aucun conducteur ne peut être établi au-dessus ou au-dessous des voies publiques sans une autorisation donnée par le préfet, sur l'avis technique des ingénieurs des Postes et des Télégraphes, et conformément aux instructions du Ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies. »

« Art. 5. — Les dispositions ci-dessus ne concernent pas les installations de conducteurs d'énergie électrique faites pour les besoins de leur exploitation par les administrations de l'Etat ou par les entreprises de services publics soumises au contrôle de l'administration.

« Les projets de ces installations électriques, ainsi que toutes les modifications qui y seront apportées, devront, sauf lorsqu'ils concerneront les chemins de fer et les voies navigables, être soumis à l'approbation du ministre des Postes et des Télégraphes, après examen en conférence par les services intéressés. »

« Art. 6. — Il sera formé près le ministère du Commerce, de l'Industrie et des Postes et des Télégraphes, un comité d'électricité permanent, composé, pour une moitié, de représentants professionnels des grandes industries électriques de France ou des industries faisant usage des applications de l'électricité.

« Les membres de ce Comité et son président seront nommés par le Ministre. Le président sera choisi en dehors des membres du Comité.

« Le Comité d'Electricité donnera son avis sur les règles générales applicables dans les cas visés aux articles 4 et 5 ci-dessus, et sur toutes les questions qui lui seront soumises par le Ministre. »

« Art. 7. — Toute installation électrique devra être exploitée et entretenue de manière à n'apporter par induction, dérivation ou autrement, aucun trouble dans les transmissions télégraphiques ou téléphoniques par les lignes préexistantes.

« Lorsque l'installation exigera, dans ce but, le déplacement ou la modification des lignes télégraphiques ou téléphoniques préexistantes, le Comité d'Electricité sera consulté conformément aux articles 2, 3 et 6 ci-dessus. Les frais nécessités par ces déplacements ou modifications seront à la charge de l'exploitant.

Art. 8 — Quiconque aura contrevenu aux dispositions de la présente loi ou des règlements d'exécution sera, après une mise en demeure non suivie d'effet, puni des pénalités portées à l'article 2 du décret-loi du 27 décembre 1851.

« Les contraventions seront constatées, poursuivies et réprimées dans les formes déterminées par le titre V dudit décret. »

« Art. 9. — Le décret du 15 mai 1888 est abrogé. »

Température des filaments à incandescence. — D'après les expériences du prof. Weber, la température normale des filaments à incandescence est à peu près constante. Elle ne varierait qu'entre 1292° C et 1307° C. Le filament d'une lampe à incandescence de 16 bougies, ne s'échauffe que de 180°C quand l'intensité lumineuse passe de 2 à 32 bougies.

Prix de revient de la traction mécanique. — M. Dickenson vient de publier le prix de revient des différentes lignes de tramways à traction mécanique qui existent dans les environs de Birmingham. Ils se résument comme suit, pour l'année finissant le 28 février dernier :

Tramways à vapeur...........	44	centimes
— à accumulateurs.....	75.5	—
— funiculaires.........	27.5	—
— à trolley (South-Staffordshire).........	26.5	—

Ces chiffres se rapportent à la voiture-kilomètre. Ils nous paraissent un peu élevés.

Tramways à traction mécanique et chemins de fer urbains. — Le trafic du chemin de fer élevé de New-York a sensiblement baissé dans ces derniers temps. Le dernier rapport publié accuse une diminution de 11 o/o sur le nombre de voyageurs transportés, par comparaison avec l'année précédente. Les directeurs de cette ligne attribuent ce mauvais résultat au mauvais état des affaires en général. Mais, comme le fait remarquer la « *Railroad Gazette* », il semble plus logique d'en faire remonter la cause aux perfectionnements introduits dans l'exploitation des tramways ; les lignes de tramways, en effet, n'ont point souffert comme le chemin de fer élevé de l'embarras des affaires; certaines lignes ont même augmenté leur trafic. Quand on trouve au premier coin de rue des voitures confortables, se succédant toutes les 30 secondes, on ne se donne pas la peine de faire plusieurs centaines de mètres, de monter des escaliers et de prendre un train rapide, à moins qu'on ait un long parcours à faire. Les tramways à traction mécanique, à marche rapide offrent alors de beaucoup plus grands avantages.

Tramways électriques en Amérique et en Europe. — Nous avons insisté à différentes reprises sur le faible développement des tramways électriques, le mode de traction le plus commode et le plus économique, en Europe ; c'est ainsi que la longueur totale des lignes de ce genre en Europe est inférieure à celle des lignes de la seule ville de Boston.. Toutefois, cet état de choses tend à disparaître, de nombreuses lignes sont à l'état de projet.

M. Albert Sénéchal vient de constituer une Société anonyme pour la construction et l'exploitation d'un tramway électrique de Nice à Cimiez. Le matériel sera semblable à celui qui desservait l'exposition de Lyon. La voie, en rails de 9,500 kgs avec contre-rails, aura 0,60 m. de largeur. Les voitures sont à deux moteurs de 25 chevaux et seront à accumulateurs. La ligne sera inaugurée pour les fêtes du Carnaval, dans les premiers jours de Février.

Le Téléphone à Paris. — L'Administration des Postes et des Télégraphes s'est enfin décidée à donner une satisfaction aux réclamations des abonnés du Téléphone. Un bureau dit de contrôle vient d'être ouvert à l'Hôtel de la rue Gutenberg. Il a pour mission de régler immédiatement et sans correspondance les incidents et les réclamations auxquels donne lieu le service. Ce ne sera pas une sinécure; tous les abonnés peuvent,

dès maintenant, demander la communication avec ce bureau qui est ouvert de 7 heures du matin à 7 heures du soir.

L'Electricité atmosphérique des hautes régions. — Le professeur Bórnstein a communiqué dernièrement à la Société de Physique de Berlin les résultats d'observations qu'il a faites sur l'électricité atmosphérique lors de récentes ascensions en ballon. Ils semblent modifier les opinions généralement admises. L'auteur s'attendait à ce que la chute de potentiel augmentât avec la hauteur ; c'est bien ce qui se produisit jusqu'à une altitude de 3000 mètres ; mais à ce point, aucune conduction ne se manifesta dans l'électroscope. Le ballon étant descendu, l'électricité fut de nouveau signalée à 1900 mètres. Dans une seconde ascension, le potentiel devint encore plus faible aux grandes hauteurs. Dans d'autres ascensions qui eurent lieu à Paris et à Berlin, les résultats des premières expériences furent confirmés. Il y aurait intérêt à ce que ces observations fussent généralisés.

Utilisation des chutes d'eau en Suisse. — Environ 52 o/o des installations électriques, en Suisse, empruntent leur force motrice aux chutes d'eau si nombreuses dans ce pays. Comme le charbon y coûte cher, il y a tout lieu de penser que ce développement de stations « hydro-électriques », ne fera que se développer.

Les alternateurs de la station centrale de Saint-Louis. — Nous avons déjà eu l'occasion de signaler, à maintes reprises, la tendance actuelle à employer pour le service des stations centrales d'électricité, des dynamos de plus en plus puissantes. L'alternateur actuellement en construction dans les ateliers de la « General Electric C° » à Schenectady, pour la station centrale d'éclairage de la ville de Saint-Louis, (Mo) est un nouvel exemple de cette pratique.

Il est du type « monocycle » qui emploie une fréquence relativement faible ; les armatures du générateur ont des enroulements spéciaux qui permettent leur emploi sur des circuits comprenant des moteurs à démarrage automatique.

L'alternateur en question a une capacité de 800 kilowatts ; il a 80 pôles, et sa vitesse angulaire est de 90 tours par minute. La carcasse pèse 35 tonnes et mesure 7 m. 30 environ.

L'armature a 4 m. 90 de diamètre ; elle pèse 4.500 kilos ; son arbre a un diamètre de 56 cm environ.

Sa puissance est de 667 ampères et 1200 volts ; il pourra alimenter 16.000 lampes de 16 bougies.

Statistique des tramways électriques en Amérique. — D'après un rapport qui nous est communiqué, il y avait, l'année dernière, dans l'Etat de Pennsylvanie, 99 compagnies de tramways électriques. Certaines de ces compagnies ont payé des dividendes de 20 o/o ! C'est un joli résultat. Ni le public, ni les actionnaires n'ont à se plaindre.

Téléphonie interurbaine en Amérique. — Les lignes téléphoniques à grande distance de l' « American Telephone and Telegraph C° », couvrent tout le territoire qui s'étend entre Madison (Wis.), à l'ouest, Waterville (M C.), à l'est, Washington (D C)., au sud, et Marinette (Wis.), au Nord. Plus de 2.000 villes sont reliées entre elles par ce réseau.

Statistique de l'Industrie électrique. — Lors de la distribution des prix de l'Ecole d'ingénieurs du Crystal Palace, à Londres, M. Shoolbred a donné les chiffres intéressants qui suivent : en exceptant les télégraphes, il n'y aurait pas moins de 500 000 000 de francs engagés dans l'industrie électrique en Angleterre ; 750 000 000 en France ; 1 000 000 000 en Allemagne ; 895 000 000 en Autriche, Italie, Espagne et Suisse ; environ 250 millions en Russie, Suède, Norvège et Danemark ; 2 250 000 000 aux Etats-Unis ; 250 000 000 au Canada et dans les autres Etats américains. Soit un total de 2 500 000 000 pour l'Amérique et 2 875 000 000 pour l Europe. Il y a aussi des capi-

taux considérables engagés en Australie, aux Indes, au Japon. Si l'on considère que ce développement immense n'a pris naissance qu'il y a 10 ans environ, on peut se faire une idée de ce que réserve l'avenir.

L'industrie électrique en France

Paris. — Une certaine effervescence règne en ce moment aux abattoirs de la Villette: c'est le gaz et l'électricité qui s'y livrent bataille. L'éclairage électrique est, depuis un an, installé aux abattoirs; seuls les échaudoirs sont encore éclairés au gaz.

Les bouchers désireraient conserver cet état de choses qui leur offre certaines facilités. Il leur permet, au cours de leur travail, de faire chauffer de l'eau et de « flamber » les couteaux dont ils se servent. D'autre part, le Conseil municipal, qui en tient pour l'électricité, refuse de faire à la canalisation du gaz des réparation devenues indispensables; il laisse même entendre qu'il coupera un de ces jours cette canalisation. Au contraire, la Compagnie intéressée paraît disposée à prendre à sa charge les frais de réfection des conduites; elle y met toutefois une condition : les bouchers qui payent actuellement le gaz 0 fr. 15 le mètre cube, comme la Ville de Paris, le paieraient désormais 0 fr. 30, comme les autres particuliers

Les intéressés sont perplexes. Ils se demandent s'ils accepteront les propositions de la Compagnie ou les présents du Conseil municipal. Ce dernier, pour les engager à abandonner le gaz, a mis, en effet, 8,000 francs à leur disposition.

Cette somme serait affectée à l'installation de l'électricité dans les cent quatre-vingt-sept échaudoirs, dont quinze seulement sont actuellement pourvus de ce mode d'éclairage.

L'affaire en est là et les bouchers « classés » discutent.

— La question de l'éclairage à l'électricité du jardin du Carrousel et de la rue des Tuileries va enfin recevoir une solution.

La première commission du Conseil municipal et l'administration avaient d'abord songé à assurer l'éclairage avec l'usine électrique municipale des Halles. Mais on a constaté que cet établissement était insuffisant. Deux hypothèses ont alors été envisagées : 1° Production directe par la Ville de sa lumière électrique, par la création et l'exploitation d'une petite usine à proximité du Carrousel : 2° Passation d'un nouveau contrat avec la Compagnie continentale Edison, qui a fait une soumission ayant pour but d'étendre aux voies dont il s'agit l'éclairage dont elle est chargée pour la place du Carrousel.

C'est probablement cette seconde solution qui sera choisie. En effet, la création d'une usine municipale nécessiterait, indépendamment du crédit de 46,300 fr. inscrit au budget de 1894, l'ouverture d'un crédit supplémentaire de 33,000 fr. environ, ce qui ferait une dépense totale de près de 80.000 francs. Encore ne pourrait-on établir un service de rechange qui est indispensable. En outre l'administration déclare ne trouver, pour installer l'usine, d'autre endroit que le sous-sol du pavillon de Flore, bâtiment qui appartient à l'Etat et est occupé par le ministère des colonies.

Les propositions de la Compagnie Edison ont paru plus avantageuses à la commission du Conseil municipal. La dépense annuelle n'atteindrait pas 50,000 francs. Les frais de premier établissement à la charge de la Ville s'élèveraient à 45,000 francs dont 13,000 à recouvrer sur l'Etat, payables après la mise en service de l'éclairage. L'Etat contribuerait également dans les frais annuels d'entretien pour 6,000 francs.

Les canalisations seraient établies par la Société alsacienne des constructions mécaniques.

L'éclairage de la place du Carrousel, des deux jardins des Tuileries et de la rue des Tuileries sera assuré par 42 foyers.

Aix-les Bains — Le conseil municipal de cette ville vient de recevoir des propositions, d'une part de MM. Perrin et Chevrant concernant l'éclairage électrique et, d'autre part, de la Compagnie du gaz.

Il ressort de la comparaison des deux projets que les propositions de MM. Perrin et Chavrant sont beaucoup plus avantageuses à tous les points de vue : économie, éclairage toute l'année, toute la nuit et dans toute la ville.

Bourg Saint-Maurice. — L'installation d'éclairage électrique de ce bourg dont nous avions annoncé la création, vient d'être inauguré dans les derniers jours de décembre.

Le Gérant : L. DENNERY.

Imprimerie ALCAN-LÉVY, 24, rue Chauchat, Paris

2e Année — Samedi 19 Janvier 1895 — N° 3

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

REVUE DE L'ÉLECTRICITE

3, RUE RACINE, PARIS

Directeur P. H. LEDEBOER, Docteur ès-sciences

LES CANALISATIONS ÉLECTRIQUES A PARIS (1)

Un des principaux types de canalisation employés à Paris, surtout avec les conducteurs nus, est, comme l'on sait, le système de conduites rectangulaires en béton de ciment, dites caniveaux. Une Société, gênée par l'emploi de ce type dans certaines rues dont les trottoirs étroits sont déjà encombrés par d'autres canalisations, a eu recours à des conduites rectangulaires en poterie, dont la forme est indiquée sur les figures 1, 2 et 3.

Comme on le voit, dans ces conduites, les câbles étaient posés sur des isolateurs en porcelaine avec autant de soin que dans les caniveaux en béton. Malgré ces précautions, on a eu de sérieux mécomptes et la Société, avec une sagesse et une décision dont on ne saurait trop la féliciter, a supprimé toutes les canalisations en poterie de son réseau, malgré la dépense considérable qui en est résultée. Elle les a remplacées par un caniveau en béton du type réduit qu'elle a pu établir même dans les voies étroites. Tout son réseau est ainsi constitué aujourd'hui par des canalisations de ce système; et, grâce à la bonne exploitation du secteur, les résultats obtenus sont très satisfaisants.

Les phénomènes que l'on a constatés avec les canalisations en poterie et qui les ont fait proscrire sont bien complexes. On se bornera ici à indiquer les plus importants. Au bout d'un certain temps d'exploitation, on constate la présence dans le caniveau de matières blanchâtres et alcalines. Avec le temps, le phénomène continue, si bien que le caniveau finit par être complètement obstrué par ces matières. A l'analyse, on y reconnaît non seulement la présence de carbonates alcalins, mais aussi de sodium pur qui se présente en fragments assez gros et qui déflagre avec explosion, quand on le projette dans l'eau.

On n'a pas encore, du moins à notre connaissance, reproduit exactement le phénomène dans un laboratoire, et bien des explications ont été produites sans qu'il soit possible d'affirmer quelle est la véritable.

On a parlé du sel marin, employé par le service du nettoiement, à Paris, pour la fusion et

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 22 décembre 1894.

l'enlèvement des neiges ; on oublie ainsi qu'en principe cet emploi est réservé aux chaussées et non aux trottoirs et qu'au surplus, les neiges ainsi salées sont balayées aussitôt après leur fusion et projetées en égout. Cette opération ne peut se faire qu'avec des lavages abondants pratiqués au moyen de l'eau d'Ourcq. La quantité de sel employé sur les chaussées se trouve ainsi complètement diluée et projetée rapidement en égout. On ne voit pas l'air extérieur, en cette saison, et la vapeur d'eau contenue dans l'air, se condense sur les parois froides du caniveau. En hiver, au moins avec les câbles nus, la température de l'air des caniveaux est supérieure à celle de l'air extérieur et il n'en est pas de même.

Si l'on remarque, en même temps, que les joints de ces caniveaux offrent à l'eau une introduction relativement facile, que, comme on l'a déjà dit, le sous-sol parisien, composé géné-

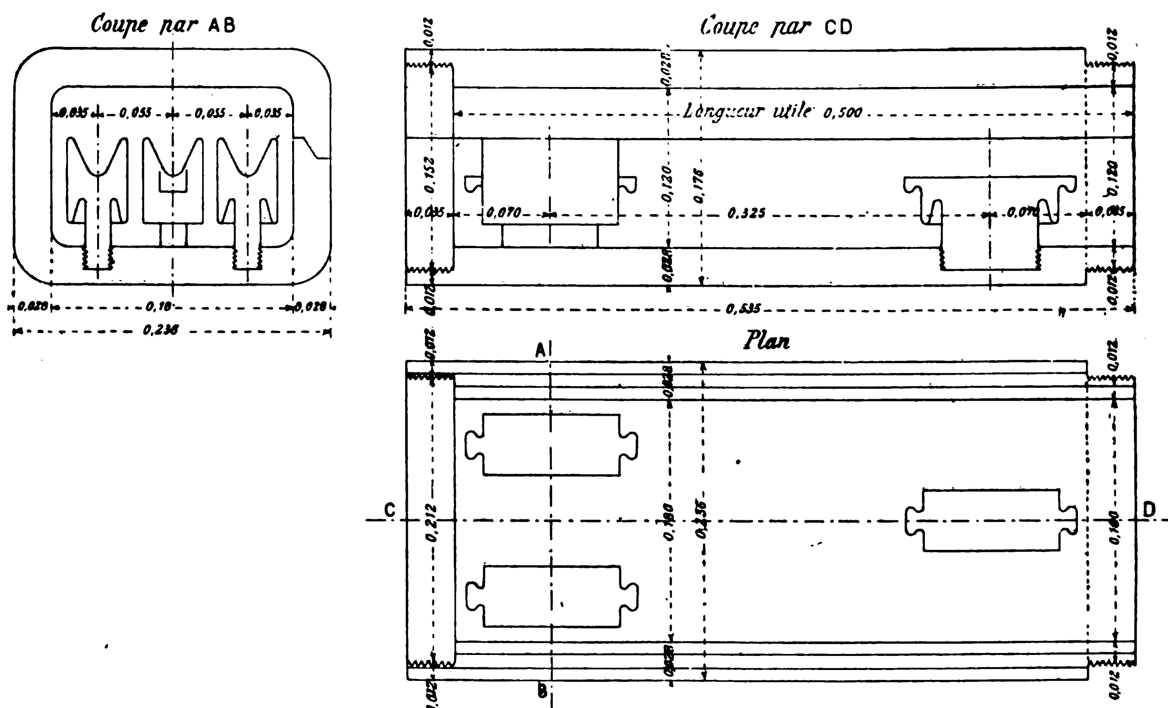


Fig. 1, 2 et 3. — Conduites rectangulaires en poterie.

nettement comment ce sel s'introduirait sous les trottoirs et envahirait les canalisations en poterie.

On a invoqué aussi les nettoyages des devantures de boutiques : cette explication est illusoire, car ces nettoyages sont faits simplement à l'eau.

Il est probable que le vernis des canalisations même, obtenu, comme l'on sait, avec du chlorure de sodium, joue un certain rôle dans la question. Les caniveaux, quelle que soit leur nature, sont toujours humides, surtout pendant l'été. La température de l'air qu'ils renferment est inférieure à la température de ralement de remblais, est instable et sujet à de fréquents tassements, on conçoit la possibilité de l'introduction de l'eau dans ces caniveaux et, par suite, toutes ses conséquences, notamment sa décomposition en gaz détonants.

Quelles que soient les explications des accidents de toutes sortes dont les canalisations en poterie ont été la cause et sur lesquelles il est inutile d'insister, ce qu'il importe de retenir pour l'avenir, c'est la nécessité de leur interdiction.

Enfin, on trouve encore, dans un autre secteur de Paris, un système que l'expérience a conduit à éliminer : c'est le système de cro-

chets en fer, servant de supports à des câbles recouverts.

Dans ce secteur, les canalisations sont constituées par des caniveaux en béton de ciment, renfermant des câbles recouverts, isolés au caoutchouc et posés sur des crochets en fer, comme l'indique la figure 4. Ces crochets avaient été au préalable recouverts d'un émail : on espérait ainsi les préserver de l'oxydation. Mais il n'en a rien été : au bout de peu de temps, la rouille en a été complète, ce qui n'offrait pas grand inconvénient; mais, le fait le plus grave a consisté dans la lésion de la couche isolante par les crochets.

La spécification des câbles est la suivante :

Une âme métallique en cuivre étamé, une couche de caoutchouc pur, une couche de caoutchouc mélangé de 2 mm. d'épaisseur,

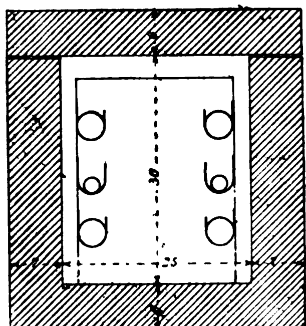


Fig. 4. — Caniveaux en béton, avec crochets en fer.

deux rubans en tissu de coton caoutchouté, le tout vulcanisé, une tresse bitumée.

Tout d'abord, les résultats d'isolement des câbles en place furent très satisfaisants; mais, au bout d'une année de fonctionnement, le réseau, essayé par la méthode des sectionnements, ne fournit plus en moyenne que 2,000 ohms par section, alors que, le voltage maximum de distribution étant de 220 volts, l'isolement minimum à obtenir dans chaque section doit être, d'après la règle fixée dans l'arrêté préfectoral du 15 septembre 1893, $5 \times \overline{220}^2$, soit 242,000 ohms. Dans les extensions du réseau, on a immédiatement renoncé à ce système et on a eu recours à l'emploi de câbles armés, du même type que ceux en usage sur le secteur de la Place Clichy. Mais, peu à peu, les défauts s'aggravant, on alla plus loin et on se décida à remplacer le système existant par un autre comportant la suppression des crochets en fer.

(*A suivre*). A. MONMERQUÉ.

THÉORIE ET CALCUL
DES MOTEURS ASYNCHRONES
A CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT (¹)

Dans un récent article (¹), nous avons exposé la théorie des moteurs à champ magnétique tournant. Nous nous proposons maintenant de l'appliquer au calcul d'un moteur de ce genre.

Supposons qu'on demande de calculer un moteur capable de fournir une puissance de trois chevaux, ou 2 208 watts. Ce moteur sera alimenté sous un potentiel constant de 200 volts maximum, et la fréquence du courant inducteur sera de 400 périodes par seconde. Le moteur devra fournir un couple puissant au démarrage.

Le procédé le plus économique pour obtenir un couple puissant au démarrage est de munir l'induit d'un rhéostat de démarrage qu'on intercalle pour faire démarrer le moteur et qu'on enlève au fur et à mesure que la vitesse s'approche de sa valeur normale ; mais ce procédé fait perdre au moteur un de ses avantages, qui est la simplicité. Il est cependant certains cas, tels que l'emploi éventuel de ces moteurs dans les mines grisouteuses, où la présence de toute pièce mobile susceptible de donner des étincelles doit être absolument proscrite.

Pour mieux nous rendre compte des propriétés de ces moteurs, nous traiterons ces deux cas séparément.

(¹) Voir l'*Eclairage électrique* des 5 et 12 janvier 1895.

Moteur avec rhéostat de démarrage dans l'induit.

Comme type de moteur, nous choisirons le moteur Brown à induit en cage d'écureuil, qui est représenté par le croquis suivant (fig. 1).

L'inducteur et l'induit sont formés de minces tôles isolées ; l'induit est mobile et placé à l'intérieur de l'inducteur ; son enroulement se compose de barres isolées, logées à la périphérie des tôles et reliées, partie en tension,

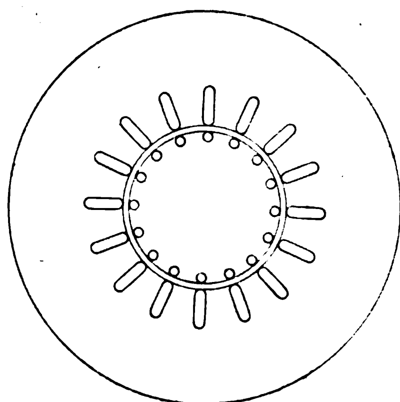


Fig. 1. — Schéma de l'induit.

partie en quantité, par l'intermédiaire du rhéostat de démarrage. Les bobines inductrices sont également logées dans des cavités pratiquées dans les tôles de l'inducteur même et le plus près possible des bords des tôles afin d'éviter les pertes de flux qui tendent à se produire à travers les petits ponts en tôle qui limitent ces cavités.

Ce système a l'avantage d'une construction robuste et présente une résistance magnétique faible. Les pertes de flux sont aussi réduites à un minimum.

La marche à suivre, dans le calcul du moteur, comprendra, dans l'ordre indiqué, la détermination du circuit magnétique, du circuit induit, du circuit inducteur, et enfin le tracé des caractéristiques.

Circuit magnétique

Diamètre de l'induit. — Le diamètre de l'induit sera fixé par la vitesse circonférentielle maximum tolérée pour l'induit.

Si cette vitesse est fixée à 3 778 m. le diamètre de l'induit sera $d = 30$ cm.

Résistance magnétique. — Connaissant le diamètre de l'induit, on peut tracer un croquis très approximatif de la coupe du moteur, sur lequel on détermine la longueur des trajets moyens des lignes de force du circuit magnétique (fig. 2).

Nous admettons, dans l'induit et l'inducteur, une induction spécifique de 7 000 (*C G S*). Nous verrons plus loin l'influence du choix

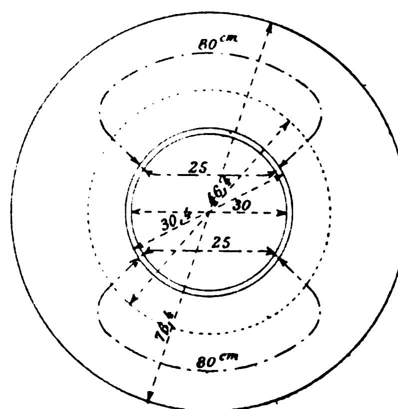


Fig. 2. — Diagramme du circuit magnétique.

des valeurs des inductions spécifiques primitives sur les variations du courant inducteur.

Pour que ce dernier ne soit pas exposé à des variations trop considérables pour de faibles variations du couple résistant, nous devons, de toute nécessité, nous borner à des inductions spécifiques primitives peu élevées.

L'entrefer est fixé à 0,2 cm. Le flux se divisant en deux dans l'inducteur, la section de ce dernier sera la moitié de celle de l'induit. Nous laisserons une zone de 8 cm. pour loger les bobines inductrices et nous tracerons aussi approximativement que possible le trajet moyen des lignes de force. On mesurera alors ces longueurs et on trouvera les quantités suivantes :

$$l_a = 25 \text{ cm. et } l_i = 80 \text{ cm.}$$

La section de l'armature sera prise égale à la section droite hors de laquelle il faudra décompter l'espace occupé par les barres indui-

tes et que nous supposerons égal à 2 cm. Il faudra également que la section fer, comprise entre ces barres induites soit suffisante pour ne pas étrangler le flux, c'est-à-dire qu'il devra règner entre ces barres un espace égal à deux fois la section droite de l'induit. La section de l'entrefer sera égale à la moitié de la surface extérieure de l'induit.

La section de l'inducteur sera égale à la section qui subsistera au delà de la zone réservée aux bobines inductrices et qui sera égale à la moitié de la section droite de l'induit. Pour que le flux ne soit pas étranglé dans l'inducteur, il faudra que la même section soit maintenue de chaque côté entre les cavités destinées à loger les bobines inductrices.

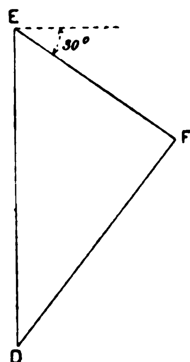


Fig. 3. — Détermination graphique du courant inducteur.

Les coefficients de perméabilité de l'inducteur et de l'induit seront

$$\mu_a = \mu_i = 2439.$$

Ces coefficients sont extraits des tableaux d'Hopkinson.

L'expression de la résistance magnétique sera

$$\Upsilon = \frac{l_e}{s_e} + \frac{l_a}{\mu_a s_a} + \frac{l_i}{\mu_i s_i}$$

Si l est la longueur de l'induit (épaisseur du fer)

$$s_e = \frac{\pi d l}{2} \quad s_a = 28\,\alpha l \quad s_i = 28\,\alpha l$$

Donc, on aura :

$$\Upsilon = \frac{0{,}00849}{l} + \frac{0{,}00036}{l} + \frac{0{,}00117}{l}$$

d'où :

$$l\Upsilon = 0{,}01002$$

Mais on a aussi la relation :

$$F = \frac{4\pi n I}{\Upsilon}$$

F est le flux inducteur et est égal à

$$28 \times 7000 \times l = 196000 \times l$$

d'où

$$l\Upsilon = 0{,}000064\ nI \qquad (2)$$

La résistance magnétique entre également dans l'expression de la puissance :

$$2\pi G\,(\beta - m) = 2208 \times 10^7$$

où G est exprimé en fonction de $\frac{n^2 I^2}{\Upsilon}$ et d'un coefficient numérique dont la valeur en

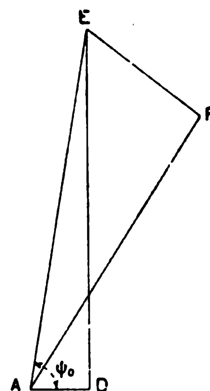


Fig. 4. — Détermination du courant inducteur.

fonction de l'angle de décalage φ ont été données plus haut.

Pour avoir l'utilisation la plus complète du moteur, nous devrons choisir ce coefficient le plus grand possible et nous prendrons sa valeur maximum qui est égale à 0,555 et qui correspond à un angle de décalage égal à 30°.

Nous aurons donc :

$$3{,}48\,(\beta - m)\frac{n^2 I^2}{\Upsilon} = 2208 \times 10^7 \qquad (3)$$

où m représente une nouvelle inconnue qu'il faut déterminer.

Vitesse de l'induit. — La puissance totale est exprimée par $2\pi G(\beta - m)$; la puissance perdue dans l'induit par $2\pi G m$, ou par $p R I^2$.

Nous pourrons donc écrire :

$$\frac{2\pi G(\beta - m)}{2\pi G m} = \frac{2208 \times 10^7}{p R I^2}$$

ou

$$\frac{\beta - m}{m} = \frac{2208 \times 10^7}{p R I^2} \qquad (4)$$

Le courant I reste exprimé en fonction d'un

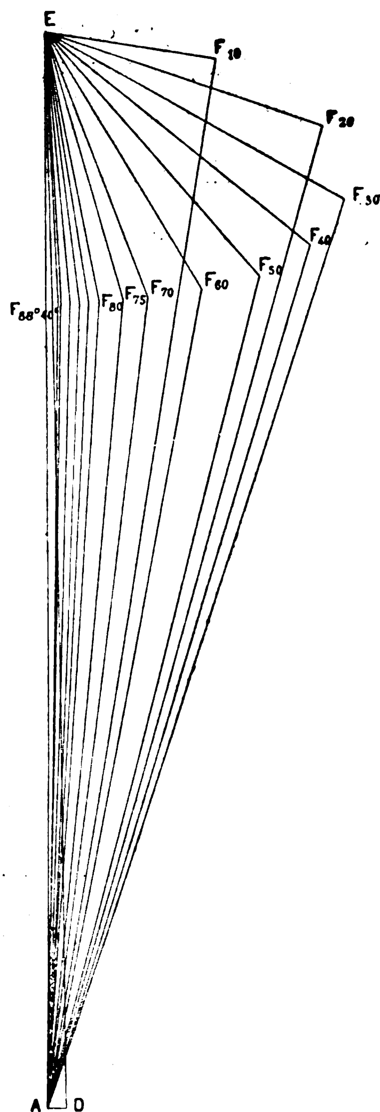


Fig. 5. — Variations du courant inducteur.

coefficient numérique qui correspondra à l'angle $\varphi = 30°$, et dont la valeur sera, par conséquent, égale à 0,4 et en fonction d'un coefficient indéterminé : $\frac{n\,I}{n'p}$

La résistance R sera donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{L \times 1650}{s}$$

où L est la longueur du fil d'une bobine et s sa section.

La longueur d'une spire d'une bobine sera égale très approximativement à

$$(1{,}08\ \alpha\ l + 74).$$

1,08 l est la longueur totale de l'induit et 74 est la longueur du fil qui ferme la spire à l'extrémité de l'enduit

La longueur L sera donc égale à

$$n'\ (1{,}08\ l + 74)$$

La section du fil induit sera déterminée par la densité du courant que l'on y tolérera Fixons cette densité à 2 amp. par mm². Il faut prendre cette densité assez faible pour ne pas avoir de mécomptes.

Donc

$$I = \frac{1}{20}\ (\text{CGS})$$

et finalement

$$RI = (1{,}08\ l + 74)\ n' \times 1650 \times 20 \qquad (5)$$

Mais, de l'équation

$$I = 0{,}4\ \frac{n\,I}{n'p} \qquad (6)$$

on tire n' que l'on substituera dans la précédente ; il viendra

$$p R I^2 = (1{,}08\, l + 74) \times 1650 \times 20 \times 0{,}4 \times n I.$$

Des équations (1) et (2), on déduit :

$$n\,I = 156$$

Donc

$$p R I^2 = 15{,}16 \times 10^7 + 0{,}221 \times l \times 10^7 \qquad (7)$$

Si on substitue cette valeur dans l'équation (4), il vient :

$$\frac{\beta - m}{m} = \frac{2208}{15{,}16 + 0{,}221\ l} \qquad (8)$$

Nous avons vu d'autre part, que l'expression de la puissance total était

$$3{,}48\ (\beta - m)\ \frac{n^2 I^2}{\Upsilon} = 2208 \times 10^7$$

et que

$$\Gamma = 0{,}000064\, nI.$$

On tire

$$\frac{nI}{\Upsilon} = \frac{l}{0{,}000064}$$

et

$$3{,}48\,(\beta - m)\,\frac{nI\ l}{0{,}000064} = 2208 \times 10^7$$

d'où

$$(\beta - m)\ l = 2603 \qquad (9)$$

Entre les équations (9) et (8), nous éliminerons $(\beta - m)\ l$ et nous aurons l'équation :

$$(\beta - m)\ 15{,}16 + 0{,}221 \times 2603 = 2208 \times m$$

En effet, si on augmente cette résistance magnétique en augmentant l'entrefer ou les inductions spécifiques primitives, le produit $l\ \Upsilon$ [équation (1)], qui était égal à 0,01002 devient plus grand ; soit K ce produit.

Des équations (1) et (2), on déduit

$$\frac{n^2 I^2}{\Upsilon} = \frac{kl}{0{,}000064^2}$$

Dans l'équation qui donne la puissance totale

$$P_t = 3{,}48\,(\beta - m)\,\frac{n^2 I^2}{\Upsilon},$$

le terme $(\beta - m)$ changera peu et, si la puis-

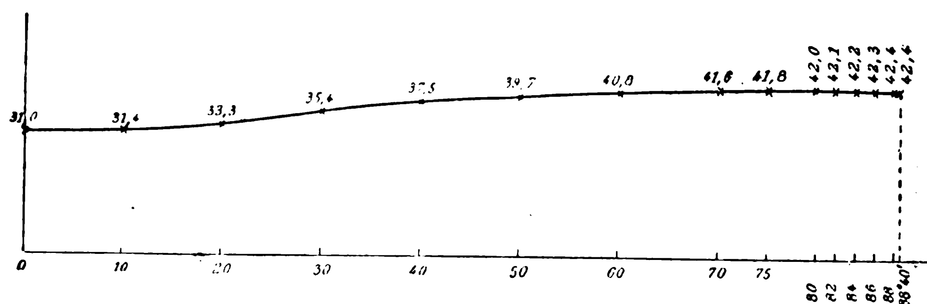


Fig. 6. — Valeurs du courant inducteur.

Comme $\beta = 40$, on déduit

$$m = 0{,}535$$

Longueur de l'induit. — De l'équation (9), on tire immédiatement

$$l = 66 \text{ cm.}$$

et de l'équation (1), on déduit la valeur de la résistance magnétique

$$\Upsilon = 0{,}000151$$

Observation. — Des équations qui précèdent, on peut déduire l'influence de la résistance magnétique sur les dimensions et par conséquent sur le prix du moteur.

sance doit rester la même, le terme $\frac{n^2 I^2}{\Upsilon}$ doit rester constant.

Mais si on augmente la résistance magnétique en augmentant l'induction spécifique primitive, K augmentera et le terme du dénominateur diminuera ; la longueur l devra donc diminuer.

Si c'est l'entrefer qui augmente, K seul augmente ; le dénominateur reste courant et l devra encore diminuer.

Si on augmente donc la résistance magnétique, les dimensions du moteur diminueront, mais les ampères-tours inducteurs,

$n\ I$, augmenteront et la perte dans l'excitation augmentera dans la même proportion que la résistance magnétique.

Donc une marche économique du moteur devra se payer par un prix plus élevé du moteur et réciproquement.

Le choix de ces éléments dépendra, dans chaque cas, du coût de la force motrice.

Il faut seulement faire remarquer que si on veut avoir un moteur de faible dimension, on devra plutôt augmenter l'entrefer, ou mieux, saturer les dents de l'induit, qu'employer des inductions spécifiques élevées ; car dans ce cas, comme nous le verrons plus loin, le courant inducteur subit des variations très considérables pour de faibles variations du couple résistant et peut prendre des valeurs dangereuses pour la conservation de la ligne.

Circuit induit

Nombre de barres induites. — Nous avons imposé la condition que le flux ne soit plus étranglé dans l'induit : il faudra donc qu'entre les barres induites, il subsiste une section égale à deux fois la section droite de l'induit. La section qui restera libre pour loger les barres, sera donc égale à $(3{,}14 - 2)\ d$, ou $1{,}14 \times 29$. Mais, comme les trous dans les tôles doivent être d'un diamètre plus grand que les barres induites, afin de loger l'isolant, admettons comme espace disponible, 28 cm.

Nous aurons

$$4pn'd = 28. \qquad (10)$$

où d représente le diamètre des barres.

Si on limite la densité du courant à 2 ampères par mm², nous pourrons écrire

$$I = \frac{\pi d^2}{4}\ 20.$$

d'où, éliminant d entre ces deux équations, il vient :

$$p^2 n'^2\ I = 769{,}3. \qquad (11)$$

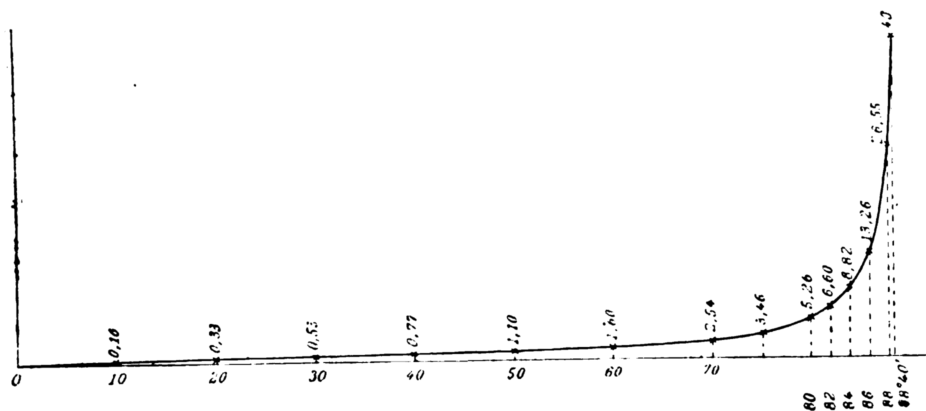


Fig. 7. — Vitesses relatives de l'induit.

De l'équation (6)

$$I = 0{,}4\ \frac{nI}{n'p'},$$

on tire

$$pn'\ I = 62{,}4 \qquad (12)$$

Des équations (11) et (12), on tire

$$pn' = 12{,}3$$

$p\ n'$ doit être un nombre entier.

Prenons $p\ n' = 12$.

On choisira les valeurs de p et de n' suivant les facilités de construction du rhéostat de démarrage.

Le nombre de barres induites sera égal à $4\ p\, n' = 48$.

Valeur du courant induit. — De $p n'$ I $= 62{,}4$, on déduit :

$$I = 5{,}2 \text{ ou } 52 \text{ ampères}$$

Diamètre des barres induites. — De $p\, n'\, d = 7$, on tire

$$d = 0{,}58$$

et la section

$$s = 0{,}263$$

Densité du courant induit. — La densité sera égale à

$\frac{I}{s}$ ou à 1,9 amp. par mm².

et

$$\frac{H \beta L I}{1 + \sin^2 \varphi},$$

où $H = 0{,}32$. De plus, la droite D F représente la force électromotrice ε qui est égale à 200 volts (fig. 3).

Le triangle D E F pourra être construit et nous mesurerons sur l'épure la longueur E D qui représente $\beta L I$.

On trouve $\beta L I = 227$ volts,

ou

$$\frac{4\pi\beta n^2 I}{r} = 227 \times 10^8$$

Mais, $n I = 156$

d'où $n = 44$

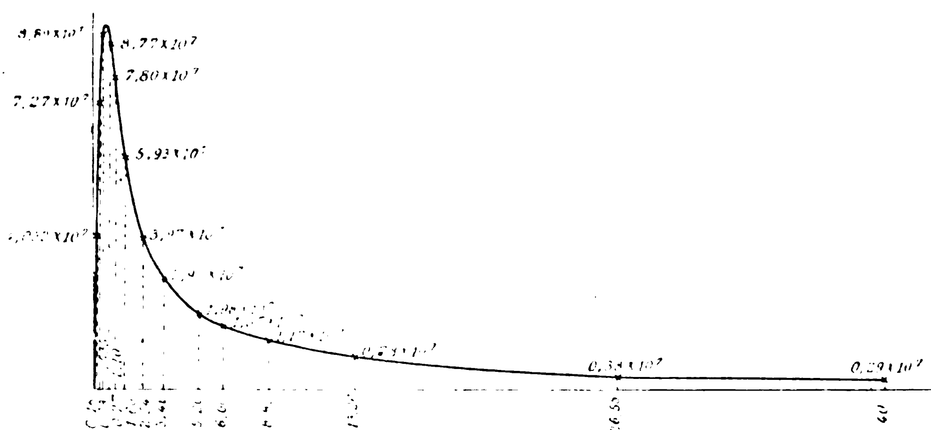


Fig. 8. — Caractéristique du couple moteur.

Circuit inducteur

Ampères-tours inducteurs. — Si on reprend les équations (1) et (2), on en déduit immédiatement

$$n I = 156$$

Courant inducteur. — Pour déterminer le courant inducteur de marche normale, nous tracerons le polygone des forces électromotrices correspondant à l'angle $\varphi = 30°$; mais, ainsi que nous le verrons plus loin, la force électromotrice R I peut être négligée devant la force électromotrice de self-induction $\beta L I$; le polygone se réduira donc au triangle D E F, où l'angle D E F est connu et égal à 60° et où les côtés DE et E F sont égaux respectivement à β L I

et $I = 35{,}4$ ampères.

Résistance des bobines inductrices. — La longueur du fil d'une bobine est égale à $44 \times 258 = 12452$, et sa résistance sera

$$R = \frac{12452 \times 1650}{s}$$

Si on limite la densité du courant à 2 ampères par mm². dans le fil inducteur, on aura

$$R = 0{,}166 \text{ omhs}$$

Le diamètre du fil sera

$$d = 0{,}47,$$

et sa section

$$s = 0{,}117$$

Perte dans l'inducteur. — La perte dans les deux bobines inductrices sera donnée par

$$R\,I^2 = 207 \text{ watts}$$

Les calculs qui précèdent se rapportent au cas où l'on suppose la force électromotrice constante aux bornes du moteur. Si on suppose que cette force électromotrice est maintenue constante aux bornes de la génératrice, on doit alors fixer la perte dans l'inducteur et dans la ligne.

Si, par exemple, on limite cette perte à 500 watts, on aura

$$R\,I^2 = 500 \times 10^7 \qquad (1)$$

Variation du courant inducteur. — Pour déterminer ces variations, nous construirons les polygones des résistances du circuit inducteur correspondants aux diverses valeurs de l'angle φ. Nous construirons d'abord celui correspondant à l'angle $\varphi = 30^\circ$ (fig. 5)

On aura

$$AF_{30} = \frac{\varepsilon}{I} = 5{,}64 \text{ ohms}$$

d'où l'on déduit

$$\beta L = 6{,}35$$

Prenons D E égal à 6,35 ohms : les droites E F seront données par $\frac{H\,\beta\,L}{1 + \sin^2\varphi}$, où H re-

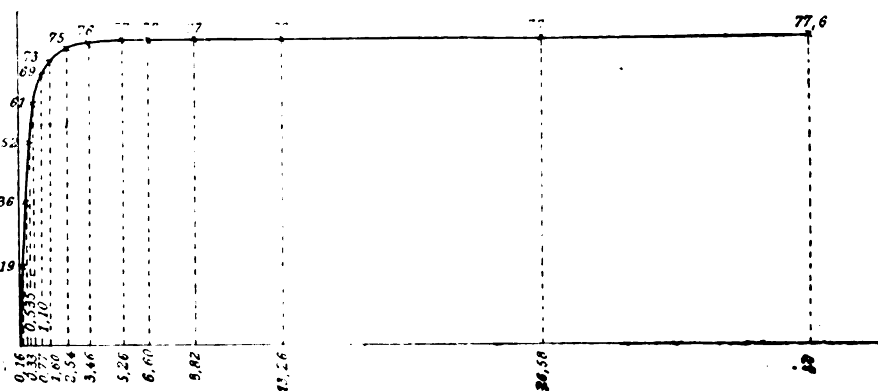


Fig. 9. — Caractéristique du courant induit.

R représentant la résistance de la ligne et du circuit inducteur.

On aura, en outre

$$n\,I = 156$$

et

$$\operatorname{tg}\psi_0 = \frac{4\pi\,\beta\,n^2}{R \times Y} \qquad (3)$$

Entre (1) et (2), éliminons I, il vient

$$\frac{R}{n^2} = 205400 \qquad (4)$$

que nous substituerons dans l'équation (3), d'où

$$\operatorname{tg}\psi_0 = 16{,}2$$
$$\psi_0 = 86^\circ 30'$$

Connaissant l'angle E A D, nous pourrons tracer le polygone des forces électromotrices A D E F et déduire, comme plus haut, les valeurs du courant inducteur et du bobinage (fig. 4).

présente les coefficients numériques de l'expression du courant induit.

Les droites A F représenteront donc les valeurs des résistances totales apparentes du circuit inducteur et les quotients $\frac{\varepsilon}{AF}$ donneront les valeurs des courants inducteurs, en supposant que la résistance magnétique reste constante. Nous supposerons dans ce cas qu'il en est ainsi ; les inductions spécifiques primitives que nous avons choisies sont assez basses pour nous permettre de faire cette hypothèse sans grande erreur ; nous verrons cependant plus loin que, lorsque les inductions spécifiques primitives sont élevées, l'erreur que l'on commettrait pourrait être très grande et qu'il faut alors tenir compte des variations de la résistance magnétique.

Si on détermine les différents quotients $\frac{\varepsilon}{R}$ on trouvera les valeurs du courant inducteur, inscrites sur la courbe suivante (fig. 6).

Connaissant ces valeurs du courant inducteur, nous pourrons passer au tracé des caractéristiques.

Caractéristiques

Caractéristique des vitesses de l'induit. — La formule

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{pmL}{R},$$

appliquée à la valeur $\varphi = 30°$, devient

$$0{,}577 = p \times 0{,}535 \times \frac{L}{R}$$

d'où

$$\frac{L}{R} = \frac{1{,}078}{p}$$

Si on porte cette valeur dans la formule générale, nous aurons

$$\operatorname{tg} \varphi = 1{,}078 \times m$$

De cette équation, on déduira les valeurs de la vitesse relative de l'induit, et qui seront représentées par les ordonnées de la courbe suivante (fig. 7).

On voit que, dans un tel moteur, le décalage du courant induit devient vite très considérable.

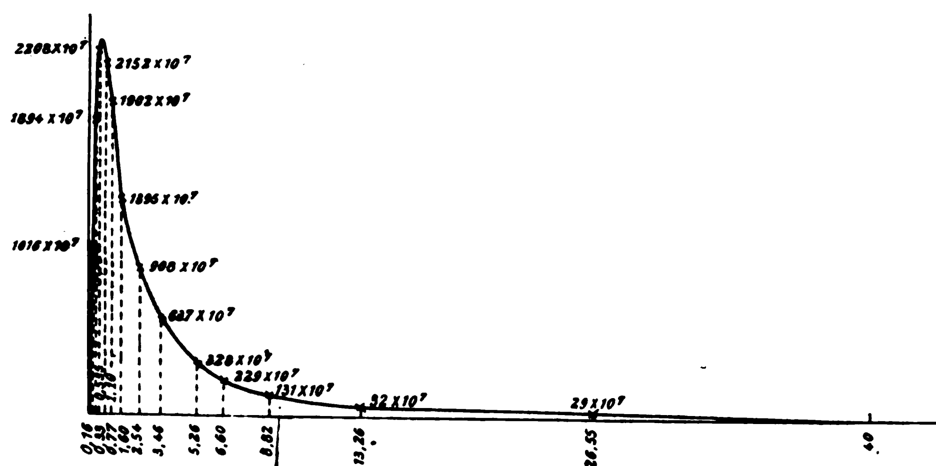
Dans les courbes caractéristiques que nous trouverons, nous prendrons dorénavant comme abcisses les valeurs des vitesses relatives de l'induit au lieu des angles de décalage ; ces courbes en seront plus expressives.

Caractéristique du couple moteur. — Les valeurs du couple moteur sont données par l'expression suivante :

$$C = \frac{n^2 \Gamma}{r} \frac{\sin 2\varphi}{(1 + \sin^2 \varphi)^2}$$

et seront représentées par les ordonnées de la courbe suivante (fig. 8).

On voit par cette courbe que le couple a une valeur maximum très rapprochée du synchronisme et qu'en-deçà et au-delà de ce maximum, les valeurs du couple augmentant et diminuant très rapidement au démarrage, le couple conserve encore une certaine valeur, très faible, mais qui peut cependant être suffisante pour faire démarrer le moteur sans charge. A partir du démarrage, le couple grandit d'abord lentement pour augmenter ensuite rapidement.


Fig. 10. — Caractéristique des puissances utiles.

Région de stabilité du moteur. — Si, partant du synchronisme, on fait croître le couple résistant, la vitesse du moteur diminue jusqu'à ce que le couple résistant devienne égal au couple moteur maximum. Si le couple résistant dépasse cette valeur, le moteur calera, et pour le faire démarrer, il faudra réduire le couple résistant en dessous de la valeur du couple au

démarrage, si toutefois on ne disposait pas de rhéostats de démarrage. La région de stabilité du moteur se trouvera donc entre le synchronisme et la vitesse correspondant au couple maximum, laquelle est égale à 0,9 environ. On voit donc que ce moteur, par nature asynchrône est, en fait, bien près d'être synchrone.

Rhéostat de démarrage. — Pour augmenter le couple au démarrage, il faudra donner aux bobines induites une résistance suffisante pour faire correspondre le démarrage à une valeur de l'angle φ correspondant lui-même à la valeur exigée du couple moteur.

tances extérieures au fur et à mesure que la vitesse croît, car si on laissait subsister toutes les résistances, le couple diminuerait au fur et à mesure de l'accroissement de vitesse.

Caractéristique du courant induit. — Les valeurs du courant induit sont données par l'expression

$$I = \frac{n I}{n' p} \frac{\sin \varphi}{1 + \sin^2 \varphi}$$

et seront représentées pour les ordonnées de la courbe suivante (fig. 9) :

Caractéristique du courant inducteur. — Nous pourrons tracer également la courbe du courant inducteur par rapport aux vitesses

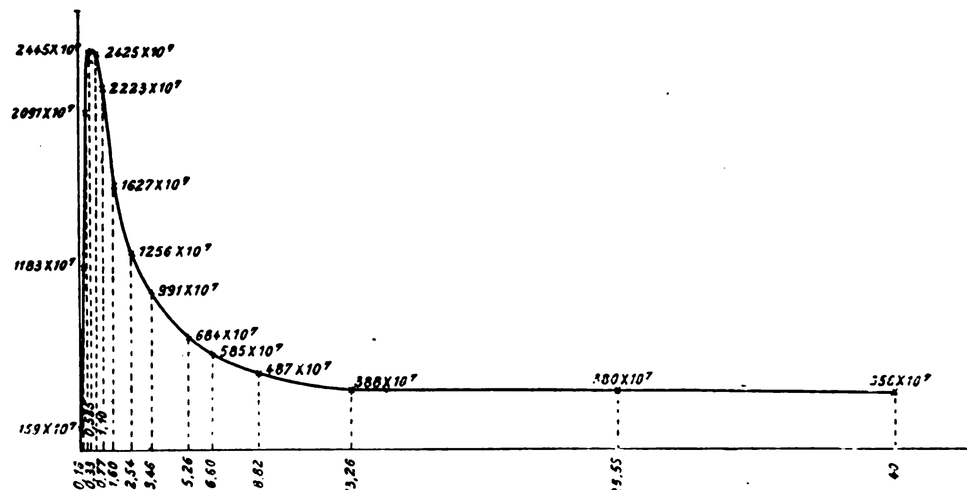


Fig. 11. — Caractéristique des puissances totales.

Ainsi, si on veut un couple au démarrage égal au couple maximum, ce démarrage devra correspondre à l'angle $\varphi = 40°$ et nous aurons

$$\operatorname{tg} 40° = p \beta \frac{L}{R}$$

d'où

$$R = \frac{4 \pi p n'^2 \times 40}{0{,}839 \times 0{.}000151}$$

Si on fixe $p = 3$ d'où $n' = 4$,

il vient :

R = 0,19 ohms alors que la résistance propre de chaque bobine induite est de 0,0038 ohms, soit 50 fois moindre. Il faut remarquer que, pour mettre le moteur en marche, il faut avoir soin d'enlever progressivement les résis-

relatives à l'induit.

Dans la région de marche stable du moteur le courant variera de 30 à 40 ampères environ ; le courant maximum qui pourra se produire est égal à 42 ampères. Il n'y aura donc pas besoin de rhéostat de démarrage dans l'inducteur.

Caractéristique des puissances utiles. — Les puissances utiles seront exprimées par

$$P_u = 2 \pi G (\beta - m)$$

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, la puissance utile comprend dans ce cas, outre

la puissance disponible sur l'arbre du moteur, les puissances correspondant aux frottements mécaniques, courants de Fourcault et hystérésis. Les deux premières de ces puissances dépendent de la construction mécanique du

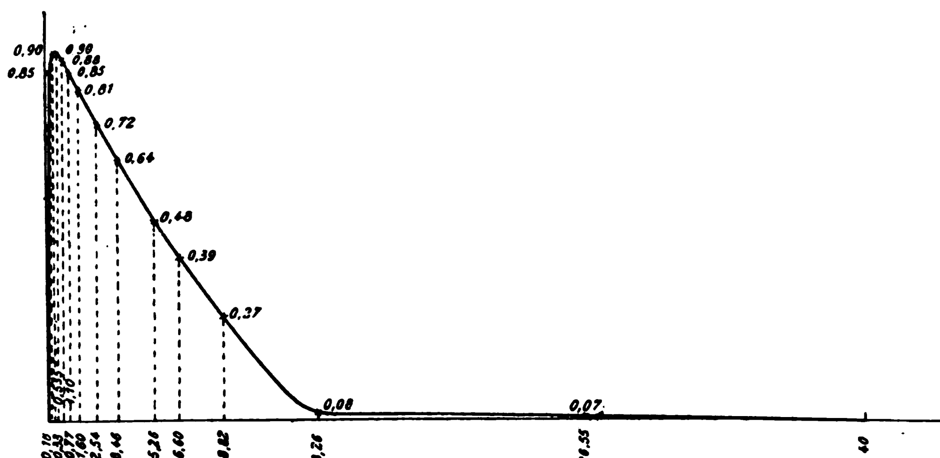


Fig. 12. — Caractéristique des rendements

moteur et ne peuvent être déterminée qu'expérimentalement. La troisième peut être calculée si l'on connaît les inductions spécifiques totales du circuit magnétique. La perte importante par hystérésis se produira dans l'inducteur et

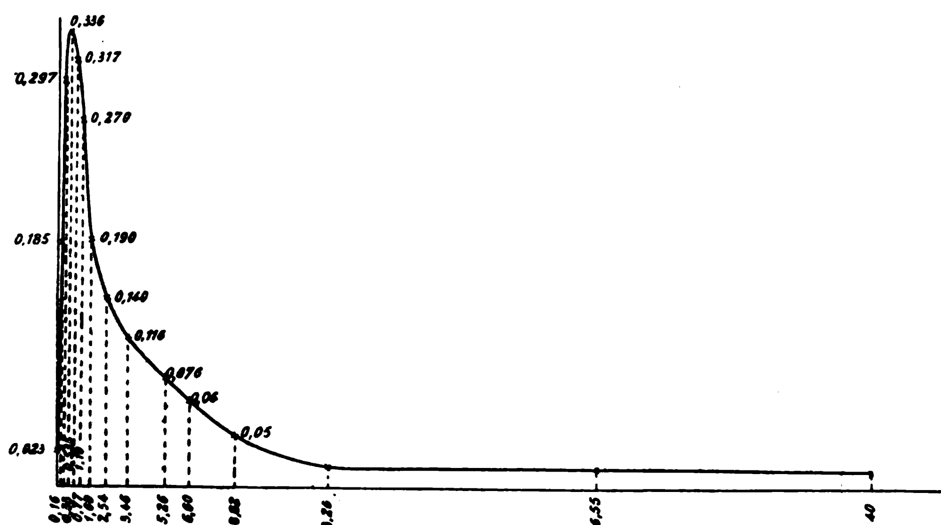


Fig. 13. — Caractéristique des angles de décalage du courant inducteur.

non dans l'induit, car, dans ce dernier, les inversions magnétiques sont très lentes.

Les puissances utiles seront représentées par les ordonnées de la courbe suivante (fig. 10).

Caractéristique des puissances totales. — Les puissances totales seront données par

$$P_t = \varepsilon I \cos\psi \text{ ou } (R + \rho) I^2$$

où $R + \rho$ peut être mesurée sur le polygone des résistances.

Les valeurs de ces puissances seront représentées par les ordonnées de la courbe suivante (fig. 11).

Caractéristique des rendements. — Le rendement sera donné par $\frac{P_u}{P_t}$ et ses valeurs sont représentées sur la courbe suivante (fig. 12).

Il faut remarquer que ce rendement, qui est

très élevé, n'est pas le rendement réel, car la puissance disponible est inférieure à ce que nous avons considéré comme puissance utile.

Si on recherche les puissances perdues dans l'induit et l'inducteur séparément, on trouve que la perte dans l'inducteur forme environ les 3/4 de la perte totale : ce sera donc sur le bobinage inducteur qu'il faudra travailler pour avoir un bon rendement.

Caractéristique des angles de décalage du courant inducteur. — Pour caractériser ces angles, nous tracerons la courbe des cosinus (fig. 13).

Les angles ψ se mesurent directement sur l'épure des résistances.

Observations. — Dans toutes ces courbes que nous avons tracées, il y a une partie qui correspond à la région de stabilité de marche du moteur, c'est la seule intéressante et c'est la seule à considérer pour discuter les conditions de fonctionnement du moteur, conditions qui seront donc connues avant que le moteur ne soit construit.

Il faut remarquer que nous n'avons pas tenu compte de la déperdition du flux : ce phénomène peut modifier d'une façon importante les résultats obtenus, mais sa détermination relève de l'expérience, d'ailleurs dans ce qui précède nous n'avons pas visé à l'exactitude rigoureuse des calculs, mais à l'exposé clair d'une méthode.

L. LEGRAND.

(A suivre.)

SUR LA PROPAGATION DES PERTURBATIONS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES (1)

b. *Méthodes indirectes*

21. *Production des perturbations périodiques très rapides.* — Les expériences faites par les méthodes directes, bien qu'ayant fourni des résultats très peu concordants, montraient néanmoins que la vitesse de propagation des ondes électriques dans les fils métalliques est très grande, du même ordre de grandeur que la vitesse de propagation de la lumière. Pour pouvoir employer les méthodes indirectes à la mesure de cette vitesse, il était donc nécessaire de savoir produire des perturbations de période très petite, afin que la longueur d'onde n'échappe pas, par sa grandeur, à nos procédés de mesure. En admettant une vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, à une longueur d'onde de 10 mètres correspond une période de un trente millionième de seconde ; par suite, il fallait obtenir des perturbations dont la période n'excédât pas quelques cent millionièmes de seconde. A Hertz revient l'honneur d'avoir montré que c'est pratiquement possible.

Nous renvoyons, soit aux Mémoires de Hertz antérieurs à 1887, soit à l'ouvrage de M. Poincaré (1), pour la description des diverses expériences qui ont conduit Hertz à la forme d'*excitateur* qu'il a employée dans ses célèbres expériences faites en 1888 et publiées dans sept Mémoires (2) se succédant avec une rapidité vraiment étonnante.

Ainsi qu'on le sait, cet appareil se compose d'une forte bobine de Ruhmkorff dont les pôles sont reliés à deux tiges horizontales de 25 à 30 cm. de longueur et de 0,5 cm. de diamètre. Les extrémités en regard de ces tiges sont terminées par des boules de laiton, parfaitement polies, de 3 cm. de diamètre, laissant entre elles un espace de quelques millimètres que l'on règle de manière que les étincelles qui y éclatent produisent un crépitement particulier. Deux plaques de laiton carrées de 40 cm. de côté ou deux sphères de 30 cm. de diamètre, placées aux extrémités des tiges opposées aux boules complètent l'appareil.

(1) Voir *l'Eclairage électrique* du 22 décembre.

(1) *Les Oscillations électriques*, p. 39 à 43.

(2) *Wied. Ann.* t. XXXIV, p. 155 (mars 1888), p. 273 (avril), p. 551 (mai), p. 609 (mai); t. XXXVI, p. 1 (décembre), p. 769 (avril 1889); t. XXXVII, p. 395 (août). *La Lum. élect.*, t. XXIX, p. 32; t. XXVIII, p. 486; t. XXX, p. 128 et 329; t. XXXI, p 589; t. XXXII, p. 38; t. XXXIII, p. 243.

Bien des modifications de détail ont été apportées à cet excitateur dans le but de diminuer la longueur d'onde des oscillations produites ou d'augmenter leur intensité. Ainsi, dans quelques-unes de ses expériences, Hertz supprima les sphères et les plaques, de sorte que l'excitateur se trouvait réduit à des cylindres de laiton de 13 cm. de longueur et de 3 cm. de diamètre terminés par des hémisphères ; il obtenait ainsi des ondes très courtes. En 1892, MM. Sarasin et De la Rive [1] montrèrent qu'il est préférable de faire éclater les étincelles dans un diélectrique liquide plutôt que dans l'air ; on obtient ainsi une augmentation notable de l'effet des ondes électriques sur les appareils servant à les observer et en même temps on évite les inconvénients résultant de l'oxydation des boules par l'air. La même année, M. Toepler [2] constata qu'en remplaçant la bobine de Ruhmkorff par une machine statique à influence, on peut diminuer la longueur d'onde des oscillations, et l'année suivante, M. Righi [3] parvint, par une disposition analogue, à obtenir des oscillations n'ayant que 20 cm. et même 7,5 cm. de longueur d'onde.

Mais la modification la plus importante apportée à l'excitateur de Hertz est due à M. Blondlot [4]. Guidé par des considérations théoriques, ce physicien rapproche et place en regard l'une de l'autre les deux plaques de l'excitateur de Hertz ; la capacité de l'appareil peut être ainsi déterminée plus exactement et la période des oscillations calculée avec plus d'exactitude. Les figures 1 et 2 représentent deux des excitateurs de M. Blondlot ; A et B sont deux plateaux circulaires de 12 cm. de diamètre et écartés de 1 cm. environ ; en leurs centres sont soudées les extrémités d'un fil de cuivre de 0,3 cm. de diamètre ; C et D sont deux boules entre lesquelles éclatent des étincelles et dont on peut faire varier la distance au moyen d'une vis micrométrique ; l'excitateur est relié à la bobine de Ruhmkorff par les fils E et F.

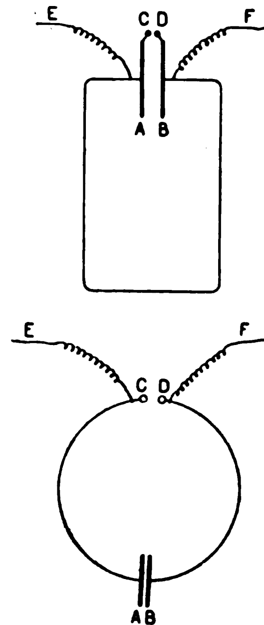


Fig. 1 et 2. — Excitateurs de M. Blondlot.

22. *Fonctionnement de l'excitateur.* — Le fonctionnement de l'excitateur est assez complexe et il a donné lieu dans ces derniers temps à des recherches et à des discussions importantes.

On admet généralement, avec Hertz, que les choses se passent de la manière suivante :

Le courant induit qui circule dans le circuit secondaire de la bobine d'induction, ou les charges électriques mises en liberté aux deux pôles de la machine électrostatique, chargent les deux moitiés de l'excitateur, l'une positivement, l'autre négativement. Quand la différence de potentiel est suffisante pour vaincre la force contre-électromotrice qui prend naissance entre les boules de l'interrupteur, l'étincelle éclate entre ces boules et les deux moitiés de l'excitateur se déchargent. La résistance du circuit de décharge, constitué par l'étincelle et par les conducteurs rectilignes de l'excitateur, est très faible et peut, pour certaines

[1] Sarasin et De la Rive. *Comptes rendus*, t. CXV, p. 439; *Arch. des Sc. phys. et natur.*, t. XXVIII; p. 306; *La Lum. électr*, t. XLVI, p. 189.

[2] Toepler. *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 464.

[3] Righi. *La Lum. élect.*, t. LXVIII, p. 601.

[4] Blondlot. *Comptes rendus*, t. CXIV, p. 283 (1892); *La Lum. électr.*, t. XLIII, p. 435.

dimensions des diverses parties de l'excitateur, être moindre que la racine carrée du quotient du quadruple de la self-induction de ce circuit par la capacité. Si cette condition est remplie, la décharge prend, d'après la théorie classique de Sir W. Thomson, un caractère oscillatoire. Cette décharge est de très courte durée, à cause de la faible capacité de l'excitateur; mais, par le jeu de la bobine ou de la machine électrique, les deux moitiés de l'excitateur se rechargent rapidement, de sorte qu'une nouvelle décharge oscillatoire ne tarde pas à suivre la première et que les oscillations sont continues.

L'étincelle de décharge, en diminuant brusquement la résistance du circuit, joue un rôle important, qui n'a pas été très bien compris dès l'origine des recherches sur les oscillations hertziennes, mais qui se conçoit facilement lorsque, comme le fait M. Poincaré (1), on compare les oscillations électriques à celles d'un pendule.

« Pour faire osciller un pendule, il faut l'écarter de sa position d'équilibre et faire ensuite disparaître la cause qui le maintenait écarté de cette position. Mais il faut que cette cause disparaisse rapidement, en un temps très petit par rapport à la durée d'une oscillation ; si, par exemple, ce temps était le quart de la durée d'une oscillation complète, le pendule serait justement revenu à sa position d'équilibre au moment où cesserait la cause qui l'en maintenait écarté : il garderait cette position et n'oscillerait pas.

« Ici, nous avons quelque chose d'analogue : il faudra que la cause qui écarte le système de son état d'équilibre disparaisse en un temps très court par rapport à la durée d'une oscillation, qui est elle-même très petite. »

Ainsi donc le but principal de l'étincelle est de faire disparaître la force contre-électromotrice, qui prend naissance dans le diélectrique séparant les boules de l'excitateur, en un temps très court par rapport à la durée des oscillations qu'il s'agit de produire. Les expériences de Feddersen montraient que ce but est atteint lorsqu'on décharge un condensateur dans un circuit satisfaisant à certaines conditions, mais rien ne pouvait faire prévoir qu'il le serait encore lorsqu'il s'agit d'obtenir des oscillations beaucoup plus rapides. L'expérience seule pouvait donner quelque renseignement à cet égard. Aussi est-ce par un heureux hasard, provoqué d'ailleurs par de nombreuses recherches et aidé par une observation approfondie, que Hertz a découvert cette propriété de l'étincelle et a été conduit à la construction de son excitateur.

Faisons observer que la rapidité avec laquelle l'étincelle fait disparaître la force contre-électromotrice de l'interrupteur doit nécessairement dépendre des conditions qui accompagnent la formation de cette étincelle, et, par conséquent, de la nature du diélectrique où est plongé l'interrupteur, ainsi que de la nature du courant servant à charger les moitiés de l'excitateur. On s'explique donc qu'un excitateur puisse donner de meilleurs résultats quand l'interrupteur est plongé dans un diélectrique liquide que quand il est plongé dans l'air ; on s'explique également qu'un excitateur de petites dimensions puisse fonctionner lorsqu'il est relié à une machine électrostatique tandis qu'il ne peut fonctionner lorsqu'on le relie aux pôles d'une bobine d'induction.

A la suite d'expériences que nos lecteurs connaissent, MM. Hagenbach et Zehnder (1) ont conclu à l'inexactitude de l'explication que nous venons de donner du fonctionnement de l'excitateur. D'après ces expériences, les décharges de l'excitateur, au lieu de se produire alternativement dans un sens et dans l'autre, comme l'admet Hertz, ont lieu dans un même sens.

En analysant le Mémoire de ces physiciens, M. Raveau faisait observer, avec raison, que, dans l'explication donnée par Hertz, l'hypothèse d'une décharge alternative n'a qu'une

(1) Poincaré. *Oscillations hertziennes*, p. 38.

(1) Hagenbach et Zehnder. *Wied. Ann.*, t. XLIII, p. 610, 1891 ; *La Lum. élect.*, t. XLI, p. 519.

importance secondaire et que son rejet ne modifie guère l'explication. « Comme on le voit, écrivait M. Raveau (1), le point capital de l'argumentation (de MM Hagenbach et Zehnder) est l'impossibilité, *pour la décharge disruptive*, de franchir dans les deux sens la distance explosive du conducteur primaire; les auteurs en concluent à l'impossibilité de l'existence d'une vibration; si j'ai bien compris la pensée de Hertz, il me semble qu'il ne considère pas la décharge disruptive elle-même comme constituant l'oscillation, mais qu'il admet que, chaque fois qu'une étincelle jaillit, elle fait naître des oscillations extrêmement rapides, dont la durée est de l'ordre du cent millionième de seconde. »

Récemment, nous avons eu l'occasion d'analyser deux Mémoires de M. Zehnder (2) dans lesquels ce physicien expose l'idée qu'il se fait personnellement du fonctionnement de l'excitateur de Hertz, idée qui diffère complètement de celle qui était développée dans le Mémoire relatant les expériences de MM. Hagenbach et Zehnder. Ainsi que nous l'avons vu, elle conduit, comme l'explication de Hertz, à une variation périodique de la différence de potentiel des deux moitiés de l'excitateur; mais, tandis que, suivant Hertz, cette différence est alternativement positive et négative, elle est toujours du même signe, d'après M. Zehnder (voir figure 2 de la page 561 où les courbes ponctuées des schémas *a* et *b* représentent les variations de la différence de potentiel d'après les vues de Hertz et où les courbes en trait plein des schémas *c* et *d* représentent ces variations d'après M. Zehnder). Rappelons également que, suivant M. Birkeland (3), les particularités observées dans la réflexion et la résonance des ondes émises par l'excitateur et que M. Zehnder considère comme des preuves de l'exactitude de sa manière de voir, peuvent très bien s'expliquer lorsqu'on admet les vues de Hertz.

(1) Raveau. *La Lum. élect.*, t. XLI, p. 524, 1891.
(2) Zehnder. *Wied. Ann*, t. LXLIX, p. 724, 1893; *Éclairage électrique*, p. 35. — *Wied. Ann.*, t. LII, p. 34, 1894; *Éclairage électrique*, p. 560.
(3) Birkeland. *Wied. Ann.*, t. LII, p. 486, 1894; *Éclairage électrique*, p. 471.

En tout cas, les deux explications conduisent à admettre une variation périodique des phénomènes électriques dont l'excitateur est le siège. On se trouve donc amené à se poser cette question : Quelle est la nature de cette variation? Le plus simple est d'admettre qu'elle est pendulaire et de chercher ensuite si les conséquences de cette hypothèse sont d'accord avec les résultats des expériences. Les expériences de MM Rubens (1), Bjerkness (2), Jones (3), Perot (4), Saint-John (5), ont confirmé cette hypothèse et ont montré qu'il fallait, en outre, admettre que les oscillations de l'excitateur sont très fortement amorties.

23. *Appareils employés pour étudier la propagation des ondes.* — En même temps qu'il imaginait un appareil capable de produire des perturbations électriques périodiques de très grande fréquence, Hertz imaginait un appareil sensible aux ondes ainsi produites; cet appareil, auquel il a donné le nom de *résonateur*, est constitué par un fil métallique replié en carré ou enroulé en cercle, dont les deux extrémités, très rapprochées, portent deux boules dont on peut faire varier la distance à l'aide d'une vis micrométrique. Sous l'action des ondes émises par l'excitateur, des oscillations prennent naissance dans le résonateur et des étincelles se produisent à l'interrupteur.

Plusieurs modifications ont été apportées au résonateur de Hertz dans le but de rendre les phénomènes visibles à un nombreux auditoire. Dans l'article dont il a déjà été question,

(1) Rubens. *Wied. Ann.*, t. XXXVII, p. 529, 1889.
(2) Bjerkness *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 513, 1891; *La Lumière électrique*, t. XLII, p. 593.
(3) Jones. *La Lumière électrique*, t. XLII, p. 190, 1891.
(4) Perot. *Comptes rendus*. t. CXIV, p. 165, 1892; *La Lum. élect*. t. XLIII, p. 290.
(5) S. John. *Philosophical Magazine*, t XXXVIII, p. 425; novembre 1894.

M. Raveau (¹) a décrit les dispositions adoptées par MM. Joubert, Bartoniek, Blyth et Dragoumis. MM. Lucas et Garrett (²) ont, depuis, imaginé un autre dispositif remplissant le même but : l'interrupteur du résonateur est placé dans un tube de verre au fond duquel se trouve de l'acide chlorhydrique que l'on décompose par un courant, de manière à remplir le tube d'un mélange de chlore et d'hydrogène ; ces gaz se combinent avec explosion quand des étincelles éclatent à l'interrupteur. Enfin, nous avons vu récemment comment M. Zehnder (³) utilise la brusque diminution de résistance qui accompagne le passage d'une étincelle pour faire passer le courant d'un accumulateur à haute tension dans un tube évacué où se trouve l'interrupteur du résonateur ; le tube s'illumine par suite du passage du courant, toutes les fois que des étincelles jaillissent.

Mais ces modifications n'ont aucune importance pour les mesures quantitatives. Au contraire, la modification apportée par M. Blondlot a une grande importance à ce point de vue.

Comme dans l'excitateur que nous avons précédemment décrit, M. Blondlot (⁴) emploie deux plateaux circulaires auxquels sont soudées les extrémités d'un fil formant un carré ou un cercle, suivant les expériences auxquelles doit servir le résonateur ; les étincelles jaillissent entre deux pointes fixées aux plateaux. Cette forme facilite le calcul de la période des oscillations propres au résonateur, quantité qu'il importe de connaître dans certaines expériences.

La mesure de la longueur des étincelles qui se produisent à l'interrupteur du résonateur n'est d'ailleurs pas le seul moyen dont on dispose pour étudier les ondes émises par l'excitateur ; on peut également utiliser l'échauffement résultant des courants induits qui prennent naissance dans les conducteurs placés sur le trajet de ces ondes ou bien les déplacements qu'éprouvent des conducteurs, convenablement disposés, sous l'action de ces ondes.

C'est encore à Hertz que nous sommes redevables des premiers dispositifs basés sur les déplacements de conducteurs. Dans des expériences publiées en 1891 (¹), il employait, pour la mesure de la force électrique, un petit cylindre de papier doré suspendu horizontalement à un fil vertical, et, pour l'étude de la force magnétique, un anneau circulaire de fil d'aluminium suspendu par un fil, de manière à pouvoir tourner autour d'un de ses diamètres.

Un autre procédé mécanique a été utilisé par M. Bjerkness. Dans ses recherches sur l'amortissement de l'excitateur, que nous avons signalées plus haut, ce savant employait un électromètre à quadrants dont une paire de quadrants avaient été enlevée. Les deux quadrants restants étaient respectivement reliés aux extrémités du résonateur dont les boules étaient suffisamment éloignées pour que les étincelles n'éclatent pas entre elles. L'aiguille de l'électromètre restait isolée.

MM. Hagenbach et Zehnder employaient également un électromètre à quadrants. L'instrument était complet et les deux paires de quadrants respectivement reliées aux deux extrémités de l'interrupteur du résonateur ; l'aiguille était portée à un potentiel très élevé par rapport aux potentiels que pouvaient prendre les quadrants.

L'échauffement résultant des courants induits qui prennent naissance dans un conducteur influencé par les ondes électriques peut être décelé de diverses manières. On peut, comme l'ont fait MM. Boys, Briscof et Watson (²), se servir des déplacements qu'éprou-

(¹) Raveau. *La Lumière électrique*, t. XL, p. 167, 1891.

(²) Lucas et Garrett. *Phil. Mag.*, t. XXXIII, p. 299, 1892 ; *La Lum. électr.*, t. XLIII p. 582.

(³) Zehnder. *Wied. Ann.*, t. XLIX, p. 549, 1893 ; t. LII, p. 34, 1894 ; *L'Éclairage électrique*. p. 560.

(⁴) Blondlot. *Comptes rendus*, t. CXIV, p. 283, 1892 ; *La Lum. électr.*, t. XLIII, p. 435.

(¹) Hertz. *Wied. Ann.*, t. XLII, p. 407, 1891 ; *La Lum. électr.*, t. XXXIX, p. 624.

(²) Boys, Briscof et Watson. *Phil. Mag.*, t. XXXI, p. 64, 1891 ; *La Lumière électrique*, t. XLI, p. 188.

vent des corps légers sous l'influence des courants d'air chaud qui se forment autour du fil conducteur traversé par les courants induits ; dans ce but on dispose le fil suivant l'axe d'un tube vertical fermé à sa partie supérieure par une soupape légère qui est ouverte par le courant d'air. On peut aussi utiliser l'allongement qui résulte de cet échauffement du conducteur ou bien encore mesurer l'échauffement au moyen d'une pince thermoélectrique placée dans le voisinage du fil (1). Mais le procédé qui paraît le plus sensible, en même temps que le plus commode, consiste à mesurer la variation de conductibilité électrique qui accompagne la variation de température du conducteur. Dans ce but, MM. Rubens et Ritter emploient un appareil dont la disposition est analogue à celle du bolomètre de M. Langley et qui, pour cette raison, est appelé *bolomètre pour les radiations électriques* ; la disposition originale des auteurs (2) a d'ailleurs été plus ou moins profondément modifiée par les physiciens qui se sont servis ensuite de ce procédé.

Il importe de remarquer que les divers procédés d'observation que nous venons d'indiquer ne mesurent pas la même quantité. Par la mesure de la distance maximum qui sépare les boules du résonateur lorsque les étincelles jaillissent, on obtient une quantité à peu près proportionnelle à la différence de potentiel maximum qui peut se produire entre ces boules dans les conditions où se trouve placé le résonateur. Lorsqu'on emploie la disposition de M. Bjerkness, on obtient la valeur de l'intégrale

$$\int (V_1 - V_2)^2 \, dt,$$

V_1 et V_2 étant les potentiels des quadrants de l'appareil. Avec l'électromètre à quadrants, dans les conditions où l'emploient MM. Hagenbach et Zehnder, on mesure la valeur moyenne de la différence $V_1 - V_2$ pendant la période de repos qui suit les oscillations (1). Enfin, les procédés thermiques mesurent une quantité proportionnelle à l'énergie électrique transformée en chaleur, c'est-à-dire proportionnelle à $\int i^2 dt$, i étant l'intensité du courant; ils mesurent donc une quantité peu différente de celle qui est donnée par la disposition de M. Bjerkness.

24. *Calcul de la période des perturbations.* — Nous avons été conduit à nous étendre un peu longuement sur les appareils destinés à produire des perturbations électriques rapides et sur ceux qui permettent d'étudier les ondes électriques qui en résultent. Il est en effet important de bien connaître les hypothèses que l'on fait sur leur fonctionnement ainsi que les quantités qu'ils mesurent, si l'on veut pouvoir discuter utilement les résultats fournis par les mesures indirectes de la vitesse de propagation des perturbations.

Nous avons maintenant à examiner comment on détermine la période et comment on mesure la longueur d'onde.

Pour déterminer la période, on se sert de la formule établie par Sir William Thomson pour la période de la décharge oscillatoire d'un condensateur,

$$t = 2\pi\sqrt{LC},$$

où L désigne la self-induction du circuit et C la capacité du condensateur. L'exactitude de cette formule a été en partie vérifiée par Feddersen (2) qui, en observant l'étincelle de décharge avec un miroir tournant, a constaté que la période des oscillations est proportionnelle à la racine carrée de la capacité du condensateur employé et qu'elle augmente en même temps que la longueur du circuit, c'est-à-dire en même temps que la self-induction. M. Trowbridge (3), en photographiant les

(1) Klémencic. *Wied. Ann.*, t. XLII, p. 416, 1891 ; *La Lum. électr.*, t. XLI, p. 172.

(2) Rubens et Ritter. *Wied. Ann.*, t. XL, p. 55, 1890 ; *La Lum. électr.*, t. XLI, p. 169.

(1) Poincaré, *Les oscillations électriques*, p. 218

(2) Feddersen, *Ann. de Ch. et de Ph.*, t. LXIX, p. 178 (1863).

(3) Trowbridge, *Phil. Mag.*, t. XXX, p. 323, 1890 t. XXXVI, p. 343 ; 1893 ; t. XXXVIII, p. 182, 1894. — *La Lum. Elect.*, t. XXXIX, p. 438, t. L, p. 84. — *Eclairage Electrique*, p. 283.

images, données par un miroir tournant, d'étincelles de décharge beaucoup plus puissantes que celles dont disposait Feddersen, et en mesurant avec soin la capacité et la self-induction, est parvenu à vérifier complètement cette formule. Une vérification analogue résulte des expériences faites par MM. Lodge et Glazebrook pour déterminer le *v* de Maxwell par les oscillations électriques [1].

Mais s'ensuit-il que cette formule soit applicable à l'excitateur de Hertz qui produit des oscillations un millier de fois plus rapides que celles qui ont lieu dans les décharges des condensateurs de Feddersen et de M. Trowbridge? Rien ne permet de l'affirmer et il semble même qu'il y ait quelque hardiesse à assimiler aux armatures d'un condensateur les deux moitiés d'un excitateur de Hertz qui sont reliées à une bobine dont la self-induction et la capacicé sont considérables.

En réalité, il est facile de s'assurer par un calcul très simple [2] que, la période propre de la bobine étant très grande par rapport à celle de l'excitateur, celle-ci ne peut être que faiblement influencée par celle-là, et que Hertz avait raison en ne tenant pas compte de la bobine.

Admettons donc la formule de Thomson, et voyons comment on détermine les quantités L et C qui y entrent.

La self-induction L est calculée par l'une des formules

$$L = 2l\left[\log\frac{4l}{d} - 1\right], \qquad L = 2l\left[\log\frac{4l}{d} - 0{,}75\right]$$

où l désigne la longueur du circuit et d son diamètre. Hertz prenait la seconde qui suppose la distribution du courant uniforme sur toute la section du conducteur; il vaut mieux prendre la première qui suppose le courant tout entier à la surface du conducteur, cas limite dont on se rapproche quand on emploie des oscillations très rapides. En tout cas, les deux formules conduisent à des résultats peu différents. C'est la première que prend M. Blondlot.

([1]) LODGE et GLAZEBROOK, *Lum. Elect.*, t. XXXIV, p. 120.

([2]) POINCARÉ. *Oscillations électriques*, p. 46.

Pour la capacité électrostatique d'un de ses excitateurs à sphères, Hertz prenait le rayon de l'une de ces sphères, soit 15 cm. Comme l'a fait remarquer M. Poincaré [1], il est plus logique de prendre pour capacité de l'une des sphères par rapport à l'autre la moitié de ce rayon, ce qui conduit à diviser par $\sqrt{2}$ la période calculée par Hertz ; toutefois, il est évident que l'on n'a pas ainsi la véritable capacité de l'excitateur.

M. Blondlot détermine la capacité de son excitateur par l'expérience, au moyen de la méthode statique de Maxwell. On peut se demander si la capacité ainsi mesurée est égale à la capacité dans le cas d'oscillations très rapides. Le calcul montre qu'elle est très sensiblement la même [2]. Sous le rapport de l'exactitude avec laquelle on peut déterminer C, la formule adoptée par M. Blondlot est donc, ainsi que nous l'avons déjà dit, préférable à celle de Hertz. Elle lui est aussi préférable pour le calcul de la self-induction.

Mais une autre question se pose maintenant. Quand nous recevrons les ondes émises par l'excitateur sur un résonateur, ou quand nous forcerons ces ondes à se propager dans un fil métallique, les phénomènes que nous observerons se rapporteront-ils à ces ondes elles-mêmes, ou bien se rapporteront-ils à des ondes de période différente ? On conçoit que la question est de la plus haute importance ; car, si les phénomènes observés ne se rapportent pas à des ondes de même période que celles qui sont produites par l'excitateur, il ne sert à rien de savoir calculer cette période.

L'analogie des phénomènes étudiés par Hertz avec les phénomènes acoustiques semblait indiquer que des oscillations électriques ne peuvent prendre naissance dans le résonateur, sous l'influence des ondes émises par l'excitateur, que si les dimensions du résonateur sont telles que sa période propre est égale à celle de l'excitateur. Aussi admit-

([1]) POINCARÉ. *Comptes rendus*, t. CXI, p. 322, 1890. *La Lum. Electr.*, t. XXXVII, p. 634.

([2]) POINCARÉ. *Oscillations électriques*, p. 52.

on que les phénomènes observés se rapportaient à des ondes ayant la même période que l'excitateur. En 1890, les expériences de MM. Sarazin et De la Rive (¹) vinrent jeter un doute sur ce point.

Ces physiciens constatèrent que, si l'on étudie la propagation des ondes émises par l'excitateur à l'aide de résonateurs circulaires de divers rayons, on trouve des longueurs d'ondes différentes. Comme il n'est pas possible d'admettre que la vitesse de propagation soit influencée par les dimensions du résonateur employé, deux explications de ces résultats sont admissibles. On peut supposer que l'excitateur émet une série d'ondes ayant des périodes différentes et que chaque résonateur choisit parmi ces ondes celles qui sont en résonance avec lui. C'est l'explication adoptée par MM. Sarasin et De la Rive. Mais on peut également expliquer les résultats des expériences de ces physiciens en admettent, comme l'a proposé M. Poincaré (²), que l'excitateur possède un amortissement considérable, tandis que celui du résonateur est très faible ; quand une onde vient rencontrer le résonateur, il s'y développe des oscillations tendant à prendre la période du résonateur ; si celle-ci est égale à celle de l'excitateur les oscillations résultant de la rencontre du résonateur par les ondes suivantes s'ajoutent aux précédentes ; si les périodes sont inégales, les oscillations engendrées par la seconde onde contrarient les oscillations engendrées par la première ; mais comme l'amortissement de l'excitateur est supposé très grand et celui du résonateur très faible, ce sont encore les oscillations propres au résonateur qui sont observées en dernier lieu.

Ainsi que le montre M. Poincaré par le calcul (³), son interprétation explique tout aussi bien que celle de MM. Sarasin et De la Rive les résultats de ces physiciens. D'ailleurs les deux hypothèses sur lesquelles elle repose ont pu être vérifiées expérimentalement par M. Bjerkness (¹). Elle doit donc être préférée à celle de MM. Sarasin et De la Rive.

En tout cas, le phénomène de la résistance multiple nous indique que, pour déterminer la vitesse de propagation des ondes électriques au moyen d'un résonateur, il faut, ou bien chercher par tâtonnements le résonateur qui fonctionne le mieux avec un excitateur donné et calculer la période de l'excitateur qui est alors égale à celle du résonateur, ou bien prendre un résonateur dont la période est calculable et adopter cette période comme étant celle des phénomènes observés. Hertz employait le premier moyen et c'est ce qui explique pourquoi les résultats qu'il a obtenus s'accordent avec ceux des expériences postérieures ; M. Blondlot a préféré le second et c'est pourquoi il a donné à son résonateur la forme que nous avons indiquée.

25. *Propagation dans les fils.* — De nombreux dispositifs ont été employés pour étudier la propagation des ondes électriques dans les fils.

Hertz (²) prenait un excitateur à plaques et, devant l'une de ces plaques, il en plaçait une autre à laquelle était soudée l'extrémité d'un fil métallique de longueur finie. La plaque de l'excitateur agissait statiquement sur celle qui était reliée au fil et des oscillations se propageaient dans ce fil. Ces oscillations se réfléchissaient à l'extrémité du fil et donnaient naissance à un système d'ondes stationnaires dont ont déterminait les *nœuds* et les *ventres* au moyen d'un résonateur. La distance entre deux nœuds ou deux ventres consécutifs donnait la demi-longueur d'onde C'est le même dispositif qui a été employé par MM. Sarazin et De la Rive.

(¹) SARASIN et DE LA RIVE. *Arch. des Sciences phys. et natur.*, t. XXIII, p. 113 et p. 537, 1890 ; *Comptes rendus*, t. CX, p. 272 ; *La Lum. Elec.*, t. XLIX, p. 485.

(²) POINCARÉ. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. XXV, p. 609, 1891.

(³) POINCARÉ. *Oscillations électriques*, p. 123.

(¹) BJERKNESS. *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 74 et p. 512 ; *La Lum. Elec.*, t. XLII, p. 593.

(²) HERTZ. *Wied. Ann.*, t. XXXIV, p. 551, 1888 ; t. XXXVII, p. 395, 1889 ; *La Lum Elect.*, t. XXX, p. 128, et t. XXXIII, p. 243.

Le dispositif employé par M. Lecher(1) est un peu différent. Devant chacune des plaques de l'excitateur de Hertz se trouve une plaque de mêmes dimensions à laquelle se trouve fixée l'extrémité d'un long fil. Les deux fils sont tendus parallèlement : près de leurs extrémités libres est posé un tube à vide; un pont peut glisser le long des fils. Pour certaines positions de ce pont le tube s'illumine; de ces positions on déduit la longueur d'onde des oscillations, parcourant les fils. Dans

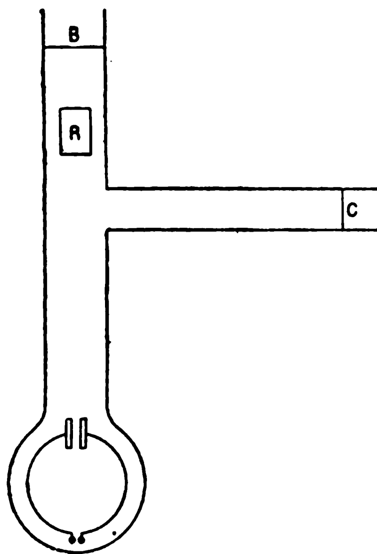


Fig. 3. — Dispositif de M. Blondlot pour étudier la propagation des ondes électriques dans les fils.

quelques expériences les extrémités des fils sont reliées aux armatures d'un condensateur plan sur lesquelles est posé le tube à vide. Cette disposition a été utilisée par de nombreux expérimentateurs, le passage des ondes en un point du fil pouvant être étudié avec l'un quelconque des appareils que nous avons indiqués.

M. Blondlot emploie la disposition représentée par la figure 3. L'excitateur circulaire est entouré par le fil dans lequel doivent se propager les ondes. Deux étriers B et C sont mobiles sur ce fil. En déplaçant B sans toucher à C, on trouve une position pour laquelle les étincelles du résonateur ont une longueur maximum. Si on déplace alors C, cette longueur passe par une série de maxima et de minima. Des positions de B et C on déduit la longueur d'onde. Dans ses expériences, M. Perot(1) produit de la même façon les ondes dans le fil; il étudie le passage des ondes en un point du fil à l'aide d'un micromètre à étincelles dont les extrémités sont respectivement reliées à deux points situés en regard sur les deux branches parallèles du fil.

Dans de récentes expériences, M. Saint-John (2) prend un excitateur rectiligne. Dans le plan horizontal passant par l'axe de l'excitateur sont tendus deux fils parallèles; leurs extrémités les plus éloignées de l'excitateur sont libres; leurs extrémités les plus rapprochées sont reliées par un fil parallèle à l'excitateur. Les ondes sont donc produites dans le fil par action électrodynamique comme dans la disposition de M. Blondlot. Elles sont étudiées au moyen d'un bolomètre; les fils qui amènent les courants induits à cet appareil sont enroulés sur deux petits tubes de verre dans lesquels s'engagent les extrémités libres du fil où se propagent les ondes. Quand on diminue peu à peu la longueur de ce fil, on observe une série de maxima et de minima de la chaleur dégagée dans le bolomètre. Des longueurs de fils qui correspondent à ces maxima et ces minima on déduit la longueur d'onde des oscillations.

Toutes les expériences faites sur les fils métalliques ont montré le caractère périodique des ondes; tous les résultats s'accordent bien avec les conséquences que l'on peut déduire de l'hypothèse d'un mouvement pendulaire dans l'excitateur.

Quant aux valeurs de la vitesse de propagation, elles ont été calculées par Hertz, M. Lecher et M. Blondlot. Hertz a déduit de la mesure expérimentale de la longueur d'onde et du calcul de la période de son excitateur, 200,000 kilomètres par seconde pour la vitesse de propagation. Si l'on rectifie son calcul de la

(1) Lecher. *Wied. Ann.*, t. XLI, p. 850, 1890; *La Lum. Elect.*, t. XLI, p. 458.

(1) Perot. *Comptes rendus*, t. CXV, p. 1277, 1892.
(2) Saint-John, *Phil. Mag.* t. XXXVIII, p. 425. 1894.

période ainsi que nous l'avons indiqué, ce résultat doit être multiplié par $\sqrt{2}$, ce qui donne 300,000 kilomètres environ. C'est également un nombre voisin de 300,000 kilomètres qu'a trouvé M. Lecher. M. Blondlot conclut de ses expériences que « les ondulations électriques ont une vitesse de propagation unique, indépendante de la longueur d'onde et voisine de 297,600 kilomètres par seconde (1). » Cette conclusion résulte de nombreuses déterminations expérimentales de longueurs d'onde variant de 9 mètres environ à 35. 36 mètres; la période était calculée au moyen des dimensions du résonateur.

Comme nous l'avons déjà remarqué (2) et comme il résulte de ce que nous avons dit plus haut à propos du calcul de la période, les résultats obtenus par Hertz et par M. Lecher ne peuvent être regardés comme rigoureusement établis. Au contraire, les résultats de M. Bondlot méritent toute confiance.

Si, au lieu de vouloir déterminer la valeur de la vitesse de propagation des ondes dans un fil, on veut seulement déterminer le rapport des vitesses dans deux fils différents, il n'est plus besoin de calculer la période ; il suffit de mesurer les longueurs d'onde dans ces fils en ayant soin que la période ne change pas d'une expérience à l'autre. C'est ce qu'a fait M. Saint-John, dans les expériences que nous signalions précédemment ; il a constaté que la vitesse de propagation dépend du diamètre du fil, et que pour un même diamâtre, elle est plus faible dans un fil de fer que dans un fil de cuivre.

27. *Propagation dans l'air et les diélectriques.* — En faisant réfléchir contre une paroi métallique plane les ondes émises par l'excitateur, Hertz a obtenu un système d'ondes stationnaires qui lui a permis de mesurer, au moyen du résonateur, la longueur d'onde des oscillations dans l'air. Il en a déduit 320,000 kilomètres par seconde pour la vitesse de propagation de ces oscillations (1), mais, si l'on rectifie son calcul de la période de l'excitateur, on trouve 460,000 kilomètres environ.

(1) BLONDLOT. *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 628, 1891.
(2) BLONDIN. *La Lum. électr.*, t. XL, p. 101, 1891.

Ainsi donc, d'après les résultats de Hertz, la vitesse de propagation dans l'air n'est pas la même que dans un fil entouré d'air. Cette conclusion a été infirmée par MM Sarasin et De la Rive qui, par de nombreuses expériences, ont montré l'égalité des vitesses dans l'air et dans les fils (2), sans d'ailleurs donner la valeur de ces vitesses.

Il est assez difficile d'expliquer pourquoi les expériences de Hertz et celles des physiciens génevois, faites par la même méthode, ont donné des résultats complètement différents. En tout cas, il convient d'adopter la conclusion de ces derniers expérimentateurs, leurs expériences ayant été répétées dans diverses conditions et leurs résultats ayant été confirmés par des recherches récentes de M. Dufour (3) sur des oscillations de longeurs d'onde beaucoup plus petites.

Quant à la propagation des oscillations électriques dans les milieux électriques autres que l'air, il est évident qu'elle ne peut être étudiée de la même manière que dans l'air. MM. Lecher, Arons et Rubens, J J. Thomson, Waitz, Cohn, Blondlot, Perot, Yule, etc., se sont occupés de la mesure de la vitesse de propagation des oscillations dans un diélectrique solide ou liquide. Mais les dispositifs employés varient avec chaque expérimentateur et leur description, même très sommaire, nous entraînerait trop loin. D'ailleurs, et c'est là un point important, les résultats obtenus sont trop peu concordants pour qu'ils puissant être comparés aux conséquences théoriques que nous avons exposées dans la première partie de cet article.

(1) HERTZ. *Wied. Ann.* t. XXXIV p. 609, 1888 ; *La Lum. Electr.*, t. XXX, p. 329.
(2) SARASIN et DE LA RIVE. *Arch. des Sciences phys. et nat.*, t. XXXVIII, p. 557, t XXIX. p. 358 ; *Comptes rendus*, t. CXII, p. 658, 1891 ; t. CXV, p. 1277, 1892 ; *La Lum. élect.* t. XL. p 133.
(3) DUFOUR. *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 1039, 1894.

III. Conclusions

28. — L'ensemble des expériences faites sur la propagation des ondes électriques dans l'air montre, d'une manière certaine, que la vitesse avec laquelle elle se produit est finie. Si nous rapprochons ce résultat de l'expérience de ceux que nous avons déduits de la théorie, et que nous avons résumés dans le § 12, nous devons conclure que *les idées anciennes sur l'électricité doivent être rejetées*.

Les expériences de MM. Sarasin et De la Rive et celles de M. Dufour nous indiquent qu'au degré de précision des mesures, la vitesse de propagation dans un fil rectiligne est la même que dans le milieu diélectrique qui l'entoure. Ce résultat est d'accord avec ceux que fournit la théorie de Maxwell. Cet accord est évidemment de nature à faire préférer cette théorie à celle de Helmholtz ; cependant on ne peut regarder cette raison comme suffisante. Nous avons vu, en effet, que, d'après la théorie de Helmholtz, la vitesse de propagation dépend de la forme de la fonction ψ qui entre dans l'expression du potentiel électrodynamique de deux éléments de courants ; comme la forme de cette fonction est indéterminée, rien ne s'oppose à ce que nous la prenions telle que la vitesse de propagation dans un fil très fin soit égale à la vitesse de propagation dans l'air, le seul milieu diélectrique pour lequel cette égalité ait été démontrée expérimentalement.

Les expériences de M. Blondlot donnent, soit par une mesure directe, soit par une mesure indirecte, des valeurs de la vitesse de propagation dans les fils qui, au degré de précision des mesures, sont égales au v de Maxwell. Ce résultat, tout en confirmant la théorie de Maxwell, n'infirme pas encore celle de Helmholtz, car la formule (22) [page 121], à laquelle nous a conduit cette théorie, se réduit à celle de Maxwell lorsqu'on y fait $k = 1$, c'est-à-dire lorsqu'on suppose avec Neumann, que la fonction φ se réduit à une constante.

Nous avons dit que les expériences de M. Saint John indiquent que la vitesse de propagation dépend du diamètre et de la nature du fil. Nos considérations théoriques nous ont conduit, quelle que soit la théorie adoptée, à des expressions de la vitesse de propagation indépendantes du diamètre du fil. Il semble donc y avoir divergence entre la théorie et l'expérience, car, pour simplifier les calculs, nous avons admis que le diamètre du fil est négligeable ; si l'on faisait les calculs en tenant compte de ce diamètre, on arriverait à des expressions contenant cette quantité. D'autre part, dans le calcul de la self-induction du fil (§ 7), nous avons bien tenu compte de la perméabilité magnétique du milieu environnant le fil, mais nous avons admis implicitement que la matière formant le fil lui-même n'est pas magnétique. Les résultats obtenus par M. St John dans la comparaison des fils de fer et de cuivre ne peuvent donc infirmer les conclusions théoriques.

Quant aux recherches faites sur la propagation dans les diélectriques solides ou liquides, elles semblent indiquer que la vitesse varie en raison inverse de la racine carrée de la capacité inductive spécifique du milieu par rapport à l'air. Mais ce résultat n'est pas rigoureusement établi et même le serait-il qu'il s'accorderait aussi bien avec la théorie de Helmholtz qu'avec celle de Maxwell ; il suffit, en effet, par un choix convenable d'unités, de rendre la quantité K_0, que nous avons introduite dans la théorie de Helmholtz, très petite, pour que le rapport des vitesses théoriques dans les deux milieux soit sensiblement égale à la racine carrée du rapport inverse des capacités inductives spécifiques.

Toutefois, si l'on ne possède pas encore de faits permettant de faire un choix raisonné entre la théorie de Helmholtz et celle de Maxwell, il n'en est pas moins vrai que cette dernière, qui se recommande déjà par sa plus grande simplicité, paraît mieux s'accorder que la première avec l'ensemble des résultats fournis par l'étude de la propagation des perturbations électriques et magnétiques.

J. Blondin.

EXTRAITS

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

COMMUNICATIONS

De la nature des perturbations téléphoniques produites dans les lignes aériennes au voisinage de conducteurs parcourus par des courants variables, par M. Pierard (1).

Dès qu'une ligne téléphonique est voisine d'un circuit de traction électrique retour par les rails, des bruits naissent dans le téléphone.

A quelles causes faut-il attribuer ces perturbations ? Résultent elles de la superposition de courants de dérivation et de courants induits soit électromagnétiques, soit électrostatiques, ou un seul de ces facteurs l'emporte-t-il dans certains cas sur les autres :

C'est ce que j'ai cherché à élucider.

Mes expériences ont porté sur des lignes téléphoniques voisines, mais souvent assez distantes (l'intervalle allant de 50 à 300 mètres) de conducteurs parcourus par des courants forts et *n'ayant aucun point d'appui commun* avec ces derniers.

Je les ai renouvelées à diverses reprises dans des conditions variées. On peut les vérifier sans difficulté, car elles sont fort simples.

Première expérience — CD (fig. 1) est un conducteur unique de 3 km. de longueur parcouru par des courants forts, par exemple le conducteur aérien d'un tramway marchant par trolley ;

AB une ligne téléphonique à simple fil, influencée par le conducteur CD et située à une distance moyenne de 80 à 100 mètres ;

1 et 2 des postes téléphoniques. Le premier prend terre à 5 km. de C, le second à une soixantaine de mètres du point D ;

E est un commutateur à deux directions permettant de donner au poste téléphonique 2, soit sa terre ordinaire t_2 soit une terre lointaine t_3. à plusieurs centaines de mètres de distance, prise au moyen d'un fil aérien perpendiculaire au circuit CD.

Lorsqu'on écoute aux deux postes et qu'on déplace le commutateur E vers la droite, permutant ainsi la terre ordinaire avec la terre éloignée, *on ne saisit aucune différence ni dans l'intensité, ni dans la nature des bruits perçus aux téléphones.*

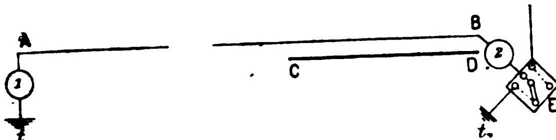


Fig. 1.

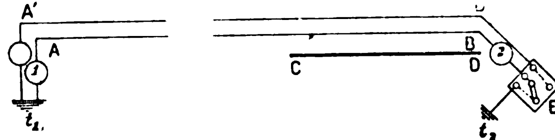


Fig. 2.

Deuxième expérience. — La terre t_3 est supprimée et la borne correspondante du commutateur reste isolée. On écoute au poste 1 et quand le commutateur du poste 2 est déplacé, laissant le circuit isolé en E, *l'opérateur du poste 1 ne perçoit qu'une faible différence dans les bruits rendus par le téléphone : le timbre est un peu altéré et paraît plus aigu, mais l'intensité est renforcée.*

Troisième expérience. — La borne isolée du commutateur E est raccordée (fig. 2) à un second fil téléphonique A'B' identique au premier et très rapproché de lui. Ce fil se termine à un annonciateur présentant approximativement la même résistance que le poste 1.

Quand on fait la commutation, substituant à la terre t_2 du poste 2, la terre t_1 du poste 1, on constate que : 1° *le poste 2 devient silencieux*; 2° *le poste 1 reste influencé comme auparavant, sauf la différence signalée lors de la seconde expérience.*

Quatrième expérience. — La situation restant la même au poste 2, la terre est supprimée au poste 1 (fig. 3), de manière à obtenir un circuit entièrement métallique : *on ne constate pas de différence au poste 2, mais le*

(1) Communication faite à l'Association des ingénieurs électriciens de Montefiore.

téléphone 1, *bruyant dans l'expérience précédente, devient complètement silencieux.*

CONCLUSIONS. — Les trois premières expériences montrent que les terres du téléphone ne jouent, dans le cas spécial considéré, aucun rôle au point de vue des perturbations téléphoniques qu'il décèle.

En d'autres termes, *au point de vue téléphonique*, les dérivations par la terre sont sans action.

J'insiste sur les mots *au point de vue téléphonique* parce qu'au voisinage des lignes de tramway le potentiel du sol est modifié, d'où passage de courants à variations lentes dus à la progression des voitures électriques, décelables au galvanomètre pendant les moments d'activité du tramway. Mais, comme le prouvent les expériences 2 et 3 où ces courants sont supprimés, ils n'exercent aucune action sur le téléphone, appareil sensible aux variations extrêmement rapides seulement.

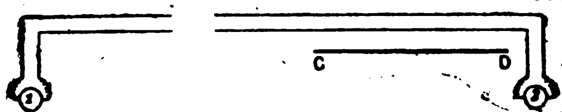


Fig. 3.

Il n'en serait pas de même, ainsi que nous l'indiquerons plus loin, si l'une des terres du circuit téléphonique ou toutes les deux étaient très rapprochées des rails : à quelques mètres de distance, ou en rapport métallique avec eux.

Voyons maintenant de quelle nature sont les courants d'induction engendrés.

Les courants électromagnétiques qui pourraient se produire, seraient dus à la variation du nombre de lignes de force émises par le circuit inducteur et traversant le circuit induit.

Dans l'expérience 1, le circuit influencé est formé par le conducteur AB dans sa partie au droit du fil influençant et la terre.

Les lignes de force qui peuvent utilement le traverser perpendiculaires au conducteur CD, se trouvent donc comprises dans un rectangle allongé de surface S, délimité par la terre, la partie du fil AB voisine de CD et les perpendiculaires sur le sol abaissées des points de AB en regard des extrémités du fil CD.

Dans le cas envisagé (fil à 8 m du sol, CD = 3 km) cette surface S mesurait approximativement $3000^m \times 8^m = 24\,000$ mq.

Les bruits perçus au téléphone résultaient donc de la superposition des courants de charge du fil AB dus à l'effet électrostatique seul et des courants électromagnétiques qui pouvaient y être engendrés par la variation des lignes de force traversant la surface S.

Mais dans l'expérience 3, la surface qui peut être utilement traversée par les lignes de force est réduite au rectangle s très petit, formé par les deux fils conjugués, au droit du fil perturbateur. Dans le cas où je me trouvais, cette surface était au maximum : $s = 3000^m \times 0^m25 = 750$ mq.

Dans le second cas, l'effet électromagnétique $\left(e = -\frac{dN}{dt}\right)$ devait donc être réduit dans la proportion $\frac{s}{S} = \frac{750}{24\,000} = \frac{1}{32}$.

Or on ne percevait aucune différence sensible au téléphone 1, donc les courants électromagnétiques étaient négligeables.

La dernière expérience montre bien, au surplus, qu'il s'agit d'effets électrostatiques. Les téléphones deviennent silencieux parce que les deux conducteurs conjugués, se trouvant pratiquement à égale distance du fil perturbateur, sont sensiblement portés au même potentiel. Ils ne peuvent conséquemment prendre que des charges latérales, ne provoquant le passage d'aucun courant dans les téléphones.

Les résultats n'acquièrent cette netteté que pour autant que les terres du reliement téléphonique soient soustraites à toute relation directe par conduction avec le circuit de retour du courant variable.

S'il n'en est pas ainsi et que notamment une des terres ou toutes deux puissent être directement influencées par le circuit de retour, des dérivations plus ou moins importantes se produisent dans le circuit téléphonique.

On peut s'en assurer en répétant l'expérience 2. Lorsque l'on isole un des bouts de la ligne, les bruits perçus au poste opposé disparaissent en partie et il ne reste que ceux dus à la charge du fil.

Je crois pouvoir conclure des expériences que j'ai faites (dont la relation détaillée serait trop longue pour être reproduite ici), que :

« 1° les effets électrostatiques se font sentir les premiers et déjà aux distances relativement considérables de 50 à 300 mètres, suivant les longueurs des circuits influençants et influencés;

« 2° ces effets peuvent, à eux seuls, apporter une entrave sérieuse aux communications ;

« 3° dès qu'une des terres du circuit téléphonique est très voisine des rails, les dérivations interviennent pour une part plus ou moins grande ;

« 4° les dérivations prennent une influence prépondérante quand les deux terres sont voisines des rails, le fil téléphonique se comportant alors comme une simple dérivation du circuit de retour du courant variable;

« 5° les effets électromagnétiques paraissent en tous cas sinon négligeables, du moins notablement inférieurs aux autres. »

Les tramways électriques de Genève, par T. Tomasina (¹).

L'entreprise de la ligne de Champel au Petit-Saconnex est concédée à la « Compagnie générale des Tramways suisses » ; toute l'installation électrique est concédée à la « Compagnie de l'Industrie électrique » de Genève.

Ce tramway, qui traverse la partie la plus peuplée de la ville, met en communication directe le quartier aristocratique des Bastions et la place Neuve avec la gare de Cornavin ; elle s'étend, dans la banlieue, jusqu'au plateau de Champel, d'un côté, et jusqu'au village du Petit-Saconnex de l'autre côté.

La longueur totale du parcours est de 5410 mètres ; en outre, une ligne à double voie de 1380 mètres de longueur relie la place du Théâtre au Dépôt, situé à Cluse, près de Carouge.

La ligne est à simple voie avec évitements. Le tracé n'est pas très accidenté ; la partie en palier représente les 3/4 de la longueur totale, et la partie en alignement droit 72 0/0 de cette longueur.

La vitesse prévue est de 12 km : h. dans le centre de la ville et de 20 km : h. dans la banlieue.

Les départs auront lieu tous les quarts d'heure, ce qui correspond à 50 voyages par jour dans chaque direction ; 6 voitures suffiront à assurer le service normal qui correspondra à 560 voitures kilomètres par jour. La ligne est établie en prévision d'un service deux fois plus actif, c'est-à-dire avec départs toutes les 7 1/2 m., sur la section qui va de la place Neuve à la gare Cornavin.

Station centrale.

L'usine d'électricité est établie dans la grande station municipale des Forces motrices du Rhône.

Deux dynamos hexagonales auto-excitatrices de Thury sont attelées directement, au moyen d'accouplements élastiques Raffard, à deux turbines horizontales du système Piccard. Ces turbines fonctionnent sous une hauteur utile de chute de 134 mètres. Un seul des groupes sera en activité pour le service normal ; l'autre servira de réserve en cas d'accident, afin d'assurer la régularité de l'exploitation.

Chaque dynamo est à enroulement compound et peut débiter 150 kilowatts, à la vitesse angulaire de 365 tours à la minute.

En prévision d'un plus grand développement du réseau électrique, un troisième groupe semblable pourra être installé, ce qui portera la puissance totale à 675 chevaux.

La tension de distribution est de 50 volts : le courant passe par le tableau de distribution et de réglage, puis est conduit par un double câble souterrain, au point central du réseau ; de là, le conducteur principal se bifurque en deux canalisations simples ; l'une va à la place

(¹) *L'Elettricità*, 16 décembre 1894, p. 795.

de Champel et l'autre à la gare du Chemin de fer. De distance en distance, ces canalisations sont reliées au fil de contact aérien ; à chaque point de jonction des parafoudres sont établis.

Ligne aérienne

Le courant est fourni aux moteurs des voitures par la méthode ordinaire de la ligne aérienne et du trolley ; le retour se fait par la terre.

La ligne de contact aérienne est constituée par un fil de 7 mm. de diamètre ; ce fil est en acier galvanisé pour toute la traversée de la ville, afin d'obtenir une solidité à toute épreuve et, sur le restant du parcours, il est en cuivre.

La ligne est posée dans l'axe de la voie, à 6 mètres au-dessus du sol. Suivant les facilités de l'emplacement, le fil de service est soutenu par des colonnettes à potence ou par des fils transversaux fixes soit à des poteaux métalliques placés au bord des trottoirs, soit à des rosaces en fer scellées dans les murs des maisons. Les isolateurs sont à base de mica et parfaitement insensibles à l'influence des intempéries atmosphériques.

Toutes les pièces de suspension sont soigneusement isolées des supports, poteaux, colonnettes et rosaces, afin de rendre impossible une dérivation à la terre.

Les poteaux tubulaires employés sont de 3 modèles différents ; ils ont une hauteur respective de 7,50 m., 8,33 m. et 8,55 m. ; la partie enfouie dans le sol est de 1,40 m. ; ils sont en tubes d'acier de trois sections différentes, entrant l'un dans l'autre ; les joints sont recouverts d'anneaux qui servent à la fois d'ornement.

Voie de roulement

La voie est de deux types. Dans la traversée de la ville, elle est du type Marsillon ; elle est établie sur traverses en bois. Le poids linéaire du rail est de 15,4 kg. par mètre, et celui du contre-rail de 11 kg par mètre. Le poids de la voie finie, sans les traverses est de 69.2 kg. par mètre courant. La longueur de cette section est de 1 km. Sur le restant du parcours, les rails sont du type Phœnix, pesant 28 kg. par mètre courant. Les rails sont par bouts de 9 m. de longueur ; le poids linéaire total de la voie est de 82 kg. par mètre, y compris les traverses en fer.

L'écartement de la voie est de 1,445 m. ; la pente maxima est de 55 mm. par mètre et le rayon minimum des courbes est de 25 m.

Pour assurer le retour du courant, on a cru devoir adopter un fil supplémentaire en cuivre ; les extrémités voisines des rails sont réunies par un fil de cuivre de 7 mm. de diamètre ; en outre, un fil de cuivre nu, enterré, est établi tout le long de la voie à laquelle il est rélié à courts intervalles.

Voitures

Les voitures sont au nombre de 8 ; elles peuvent contenir 32 personnes, dont 12 assises à l'intérieur et 4 sur les plateformes. La plateforme d'avant reçoit 8 personnes, celle d'arrière, 10. En cas d'affluence, on peut encore disposer de 6 places debout à l'intérieur. En utilisant aussi toute la place disponible sur les plateformes, on peut porter le nombre total des voyageurs transportés par chaque voiture à 45, maximum prévu.

Les sièges sont en bois perforé ; les voitures ont 5,85 m. de longueur totale ; le coffre a 3,80 m. ; la largeur est de 2,50 m. ; les plateformes ont 1,50 m. de longueur, sur 1,90 m. de largeur ; elles sont munies de marchepieds sur les deux côtés. La suspension du coffre est double ; le truck est porté par des ressorts à lames plates disposés entre les boîtes à graisse et la carcasse ; le coffre repose sur cette dernière par 10 ressorts en spirale.

La plateforme d'avant, sur laquelle se trouve le mécanicien, peut être fermée, afin d'empêcher le public de gêner les mouvements de celui-ci.

Sur les deux axes, un seul est moteur ; le diamètre des roues est de 0,80 m., et la distance d'axe en axe est de 2,30 m.

Les freins sont à 4 sabots ; ils sont com-

mandés, de chaque extrémité de la voiture au moyen de manivelles à cliquets.

La voiture tout équipée, à vide, pèse 4700 kg.

L'équipement électrique de la voiture comprend un seul moteur électrique à simple réduction, de 15 à 20 chevaux; l'armature fait 500 tours à la minute; let engrenages sont taillés à la machine avec une grande exactitude, afin d'obtenir une marche douce et silencieuse; ils sont, d'ailleurs, enfermés dans une boîte étanche, comme à l'ordinaire.

Les moteurs sont complètement enfermés dans une enveloppe en acier fondu qui forme le circuit magnétique, en sorte que ni l'eau ni la poussière ne peuvent les atteindre. Ils sont disposés de façon à rendre facilement accessibles tous les organes; la moitié supérieure peut tourner autour d'une charnière. afin de permettre une surveillance et un démontage commodes. Les frotteurs sont en charbon ; les coussins sont à graisseurs automatiques à anneau.

Les deux plates-formes sont munies d'un contrôleur du courant; il n'y a qu'une seule poignée de commande pour les deux; cette poignée peut être placée sur l'un ou l'autre contrôleur, suivant le sens de la marche; elle ne peut être retirée qu'autant qu'elle est sur la position zéro, c'est-à-dire, lorsque le courant ne passe pas dans les moteurs.

Le contrôleur proprement dit commande l'interrupteur, le changement de marche et le règlage de la tension. Il est construit pour la marche en avant, mais un contact spécial permet d'intervertir la direction, en cas de manœuvre urgente.

La vitesse de marche se règle au moyen de résistances extérieures; cette disposition a été préférée au groupement des enroulements parce que, dans le cas d'un seul moteur, elle assure une mise en marche plus douce, avantageuse à la fois au con ort des voyageurs et à la bonne conservation du matériel.

Le trolley est à contact glissant articulé d'un système nouveau; il a été étudié en vue d'éviter les échappements qui se produisent assez facilement avec les trolleys à poulie, quand on dépasse une certaine vitesse, même en alignement droit. Ce système de trolley permettrait de passer, soit aux courbes, soit aux croisements, sans diminuer la vitesse.

Le trolley est porté par une perche en bois qui tourne sur sa base, quand on veut changer le sens de la marche de la voiture.

L'éclairage intérieur de la voiture est assuré par deux lampes électriques de 16 bougies, placées aux extrémités du coffre, dans les parois; elles sont munies, à l'extérieur, de deux verres, rouge et vert, pour les signaux. Chaque plate-forme est munie d'une lampe de 16 bougies et un fanal électrique est placé à chaque extrémité de la voiture.

Cette ligne est en service depuis le milieu de septembre et, comme tout le faisait prévoir, le trafic est considérable. Ce fait doit être attribué aux conditions spéciales de confort, de rapidité et d'économie du système.

La durée totale du trajet est de 35 minutes environ à cause des arrêts aux stations et des arrêts facultatifs, plus nombreux encore; en beaucoup de points du parcours, les voyageurs peuvent monter et descendre à volonte. Les résultats obtenus prouvent que la traction électrique se prête facilement à toutes les exigences. G. P.

L'utilisation des chutes du Niagara

Le professeur Forbes publie dans le *Times*, de Londres, la lettre suivante qui donne un excellent résumé des travaux actuellement exécutés

« Tout un monde nouveau a été créé. Un grand canal conduit l'eau dans la gigantesque usine où trois turbines, pouvant entraîner chacune une dynamo de 5000 chevaux, sont installées. Il y a un pont pour conduire les câbles à la chambre des transformateurs. A l'intérieur de l'usine, l'eau est conduite jusqu'aux turbines par des tuyaux de 2m25 de diamètre; elle passe ensuite dans un tunnel de 2135 mètres de longueur creusé sous la ville, pour aller s'écouler

dans les rapides au dessous des chutes. Une puissance de 100 000 chevaux peut être obtenue. Aussi loin que la vue peut s'étendre, les terrains appartiennent à la Compagnie; çà et là s'élèvent de grandes usines qui utilisent la puissance hydraulique, ou qui attendent que le courant électrique vienne leur donner la vie. Une d'elles emploie 3300 chevaux, une autre 300, une troisième 1500; plus loin, ce moulin, bientôt terminé, aura une puissance de 1000 chevaux. Au loin, on peut apercevoir le village modèle créé pour les ouvriers; il est muni d'un système d'égouts perfectionnés, de pompes pour l'alimentation d'eau; ses rues sont bien pavées; l'éclairage est fait à l'électricité. Là encore les docks où les bateaux qui font le service des grands lacs peuvent décharger les produits manufacturiers. Tout l'ensemble est sillonné par le tramway de la Compagnie, long de plus de 11 kilomètres, qui relie toutes les usines entre elles et avec les chemins de fer. La puissance est transmise électriquement; la première entreprise sera la production de l'aluminium; 1500 chevaux seront absorbés dans cette usine.

De nouveaux types de machines ont été créés pour ce travail, comme pour tous les autres.

Toutes les critiques relatives au prix des usines électriques ont été détruites par les résultats obtenus; le rendement de chaque type de machine est supérieur à ce qui a été jamais obtenu.

Toutes les machines employées ont été faites et essayées dans les ateliers et les dernières pièces sont presque terminées.

Les plans pour le transport de la puissance électrique à Buffalo, à plus de 30 kilomètres de distance, sont complètement étudiés. Dans un mois ou deux, des usines seront en pleine activité; dans un an Buffalo sera alimenté; dans deux ans, la même Compagnie exploitera les rives canadiennes du Niagara; dans dix ans — pouvons-nous affirmer? — toute la puissance fournie par les installations actuelles sera employée pour donner l'activité à d'importantes villes manufacturières dans lesquelles la fumée sera inconnue.

La période d'études, nécessaire pour déterminer le meilleur mode de transmission, pour dessiner les plus grandes dynamos qui aient jamais été faites, pour construire, enfin, les premières usines, est maintenant achevée. Avec l'année nouvelle commence la période d'exploitation industrielle et financière. Gagner des dividendes, doubler la machinerie, tel doit être le labeur futur de la Compagnie.

Il est difficile de dire qui fut le plus hardi, dans cette gigantesque et merveilleuse entreprise, ou des capitalistes qui s'engagèrent dans une opération avant qu'aucun plan n'ait été tracé, aucune étude achevée, ou des manufacturiers qui transportèrent leurs usines près de ce nouveau centre, avant qu'aucun résultat n'ait été obtenu. Cette décision hardie et quelque peu irréfléchie de part et d'autre est un exemple typique du caractère américain. Mais la confiance des entrepreneurs et de leurs clients de la première heure n'a pas été déçue. Le succès est maintenant assuré.

Un nouveau produit du four électrique (¹)

Les procédés électriques de fusion qui ont été d'abord développés et rendus industriels par les frères Cowles dans leur four électrique pour la production des alliages d'aluminium, ont été, depuis, étudiés expérimentalement par de nombreux savants dans un but purement scientifique, et dans un but industriel par de non moins nombreux inventeurs. Les résultats obtenus sont des plus intéressants.

Le chimiste français, Moissan, par exemple, a montré qu'aux températures énormes qu'on peut atteindre par l'emploi de l'arc électrique, tous les métaux difficilement réductibles, tels que le vanadium, le chrome, le molybdène, le tungstène, l'uranium, les métaux des terres alcalines, etc., peuvent être désoxydés par le carbone et obtenus à l'état de pureté dans des conditions acceptables.

(¹) *The Journal of the Franklin Institute*, janvier 1895.

Un fait encore plus intéressant peut-être, car il ouvre un large champ, jusqu'ici inexploré, de découvertes chimiques qui peuvent recevoir des applications industrielles de la plus grande valeur, est l'observation, par divers expérimentateurs, de la formation de composés particuliers du charbon. Ces composés, tout à fait nouveaux ou difficiles à obtenir par d'autres méthodes, sont formés facilement et en quantités qui n'ont d'autre limite que les dimensions des appareils Il suffit, pour prouver cette assertion, de citer le carborindon, découvert par Acheson, le borate de carbone, découvert par Moissan, le carbure d'aluminium, découvert par les frères Cowles. Ces combinaisons étaient déjà connues, mais en raison de la difficulté qu'on éprouvait pour les obtenir par les anciennes méthodes, — difficulté qui provenait surtout de la température excessive qu'on devait obtenir, — leur utilisation industrielle n'était pas possible.

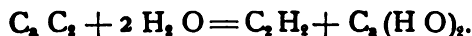
La nouvelle méthode du four électrique a prouvé que ces produits et beaucoup d'autres produits similaires, pouvaient être produits en aussi grande quantité qu'on pouvait le désirer, et à des prix de revient acceptables. Le carborindon est maintenant fabriqué par tonnes et, quoique sa découverte ne date que de peu d'années, il reçoit de nombreuses applications dans les arts et dans l'industrie.

Une découverte plus récente faite par l'emploi du four électrique, est celle du carbure de calcium ($C_a C_2$) qui, en dehors de son intérêt scientifique, promet de rendre de grands services dans les arts. Ce corps n'est pas complètement inconnu à la science ; il avait déjà été obtenu en petites quantités, pour la première fois par Wœhler, il y a plus de 50 ans, lors des recherches que fit ce savant, sur la préparation de l'acétylène ($C_2 H_2$) ; des carbures analogues de potassium ($K_2 C_2$) et de barium ($B_a C_2$), ont été produits par différents procédés plus ou moins indirects et coûteux.

La découverte de la méthode de production directe du carbure de calcium dans le four électrique est due à M. Thos. L. Willson ; elle semble avoir été un résultat négligé d'expériences faites à Spray (N. C.), pour obtenir des alliages d'aluminium et de calcium.

Nous empruntons une partie de ce qui suit à l'excellent article écrit par M. Francis Wyatt, dans l'*Engineering and Mining Journal* du 15 décembre 1894.

Alors qu'il essayait de produire du calcium métallique dans le four électrique, M. Willson réussit à obtenir d'un simple mélange de chaux et de charbon, soumis à la chaleur dégagée par un courant de 4000 à 5000 ampères, une masse homogène fondue qui, en se refroidissant devint solide et brisante. A l'analyse chimique, on reconnu que ce corps n'était autre qu'un carbure de calcium ($C_a C_2$), d'une pureté parfaite. Quand on plonge cette substance dans l'eau, il se dégage de l'acétylène pur et il se forme un hydrate de calcium. La réaction est exprimée par la formule :



$$C_a C_2 + 2 H_2 O = C_2 H_2 + C_a (H O)_2.$$

M. Wyath estime que ce procédé de fabrication de l'acétylène en grande quantité et à bon marché, par cette méthode simple et commode de fabrication du carbure de calcium, est une des plus importantes ressources ajoutées à l'industrie chimique par les électriciens.

La valeur de la découverte a été complètement appréciée par son auteur qui a formé une Société pour fabriquer en grand cette substance.

Le four électrique imaginé dans ce but par M. Willson ne diffère pas sensiblement des autres modèles qui l'ont précédé ; il ne contient que certaines dispositions de détail spéciales destinées à en obtenir le meilleur résultat possible pour ce but particulier. On peut donc en négliger la description. Il en est de même des procédés que M. Wyatt décrit comme ayant pour but de « décomposer, désoxyder ou réduire les minerais métalliques réfractaires en les soumettant d'une façon continue à la chaleur d'un arc électrique, lorsqu'ils sont intimement mélangés à un excès de charbon finement divisé, le mélange se trouvant entre les pointes de charbons de l'arc électrique. »

Ce sont les conditions essentielles d'opération dans tous les fours électriques. Le point principal, si l'on peut ainsi dire, semble résider dans cette condition que l'arc soit maintenu au contact immédiat avec la partie du mélange qui est en traitement; il faut noter aussi le rôle joué par la présence du charbon en excès, qui prévient les fluctuations violentes de la résistance électrique.

Les documents cités par M. Wyatt relativement au prix de revient de la production du carbure sont d'un intérêt immédiat beaucoup plus grand; ils sont basés sur les résultats obtenus dans la pratique journalière; il en est de même sur les renseignements qu'il publie sur la valeur commerciale probable de cette nouvelle source d'acétylène.

Comme résultat actuel de sa récente pratique, dit cet auteur, la Willson Aluminium Company a trouvé qu'elle peut produire une tonne (de 2,000 lbs, soit 908 kg.) de carbure de calcium au moyen d'un mélange de 545 kg. de poussière de charbon et de 908 kg. de chaux calcinée; la puissance électrique dépensée correspond à 180 chevaux électriques pendant 12 heures. Ces chiffres ne sont pas très sensiblement différents de ceux que la théorie indique, et ils concordent très favorablement avec ceux que M. H. Maissan a donnés, d'après ses expériences propres.

On pourrait donc déterminer comme suit, avec une exactitude suffisante, le prix de revient du carbure de calcium et de l'acétylène :

	Fr.
545 kg. de poussière de charbon	12 50
908 kg. de chaux calcinée pulvérisée	20 »
180 chevaux électriques, obtenus par la puissance hydraulique, à 2 fr 50 par heure, pendant 12 heures	30 »
Main-d'œuvre etc	12 50
Prix de revient de 908 kg. de CaC_2	75 »

Le prix de la tonne de 1,000 kg. de C_2H_2 serait donc de 200 à 205 francs.

Ces chiffres sont acceptables pour tous les endroits où, comme dans la Caroline du Nord, on peut se procurer le charbon a bas prix ainsi que des sources hydrauliques facilement utilisables.

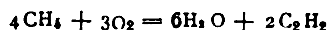
Le poids spécifique du carbure de calcium est de 2,22 à la température de 18° C.; on peut voir, d'après sa formule, qu'il est pratiquement insoluble dans la plupart des réactifs. Ses qualités et ses caractéristiques n'ont pas été complètement étudiées; M. Moissan a trouvé, cependant, qu'il peut être chauffé, dans l'hydrogène, ou exposé au nitrogène, à la température de 1,200° C., ou encore mis en contact du silicium ou du bore à la température du rouge vif, sans éprouver aucune modification; il n'est pas, non plus, affecté par le sodium ou le magnésium au point de fusion du verre, ou par l'étain chauffé au rouge A une température plus élevée que celle du rouge sombre, il s'allie avec le fer; ce point est intéressant à noter, car cette propriété peut-être employée, dans l'avenir, dans l'industrie de l'acier. Il devient incandescent au contact de la chlorine, de la bromine et de l'iodine, aux températures respectives de 245°, 350° et 305°. Il brûle dans l'oxygène, en formant du carbonate de chaux, à la température du rouge sombre. Dans des vapeurs sulfureuses, il devient incandescent à la température de 500° en formant un dépôt de sulfure de calcium et de bisulfure de carbone. Il décompose l'eau très rapidement, en dégageant de l'acétylène, mais son action sur la vapeur d'eau n'est pas aussi rapide, même s'il est porté à la température du rouge sombre ; le gaz dégagé dans ces conditions n'est pas de l'acétylène pur, mais contient de l'hydrogène Dans les acides dilués, il se comporte de même qu'en présence de l'eau, mais il n'est que légèrement attaqué par l'acide nitrique fumant et par l'acide sulfurique, quoique l'acide sulfurique ordinaire le décompose facilement, en produisant une forte odeur d'aldéhyde. Le chlorure d'hydrogène sec le rend incandescent, et le gaz dégagé contient une forte proportion d'hydrogène. En présence de l'acide chromique anhydre fondu, il forme de l'acide carbonique anhydre avec incandescence, mais, avec une solution d'acide chromique, il ne produit que de l'acétylène. Il

est oxydé par le chlorate et le nitrate de potasse à la température du rouge; il devient alors incandescent, et il se forme du carbonate de chaux. Le peroxyde de plomb l'oxyde avec incandescence en dessous de la température du rouge; le plomb réduit contient du calcium, et il devient incandescent quand on le triture avec du chromate de plomb, à la température ordinaire.

Cet exposé sommaire des premiers résultats d'une étude encore incomplète semblent soutenir l'opinion que nous avons déjà exprimée, à savoir, que le carbure de calcium appelle notre attention principalement comme source commode et pratiquement illimitée d'acétylène pure; il n'y a aucune raison de douter que son utilisation dans cette voie entraînera d'ici peu sa fabrication en grandes quantités dans toutes les parties du monde.

L'acétylène est regardé par les chimistes, et avec juste raison, comme un des corps intermédiaires les plus importants dans la synthèse des composés organiques par leurs éléments et comme un des corps les plus intéressants de la série entière. C'est le seul hydro-carbure qui puisse être préparé directetement de ses éléments libres, quand un arc électrique passe entre des pointes de charbon, dans une atmosphère d'hydrogène; cette combinaison absorbe 61 000 unités de chaleur. Cette énergie considérable explique comment il se fait que la décomposition soudaine de l'acétylène, développe assez de chaleur pour élever la température à 3,000°, et pourquoi la vibration moléculaire intense produite par la détonation d'une faible quantité de fulminate de mercure dans 25 centimètres cubes de ce gaz détermine une explosion violente accompagnée par un dégagement d'hydrogène libre et de carbone finement divisé.

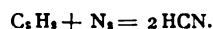
L'acétylène a jusqu'ici été produit pour les usages commerciaux par la combustion incomplète du gaz de houille, suivant les réactions indiquées par la formule



$$4CH_4 + 3O_2 = 6H_2O + 2C_2H_2$$

Sa purification s'effectuait en le faisant passer dans une solution ammoniacale de chlorure de cuivre et en décomposant ensuite le précipité rouge avec de l'acide chlorhydrique dilué. Ce procédé était évidemment très coûteux et très pénible; il est très dangereux par suite de la nature très explosible de l'acétylate de cuivre.

C'est un gaz incolore, très explosible, d'une odeur fort désagréable, et dont le poids spécifique est 0.91. Il brûle avec un abondant dégagement de fumée; sa flamme est plus lumineuse que celle du gaz oléfiant; lorsqu'il est mélangé avec de l'oxygène dans la proportion de 1 à 2 1/2 en volume, il subit une combustion complète. A la température de 1° C et à la pression d'environ 50 atmosphères, il se présente sous la forme d'un liquide très mobile, beaucoup plus léger que l'eau. En le chauffant dans un tube fermé il se transforme en un mélange de benzine (C_6H_6) et de styrolène (C_8H_8). En faisant traverser par une série d'étincelles un mélange d'acétylène et de nitrogène, on peut former l'acide cyanhydrique par la synthèse de ses éléments constitutifs :



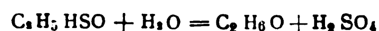
$$C_2H_2 + N_2 = 2HCN.$$

En partant de celui-ci, on peut évidemment, produire toutes les séries, série des cyanides et quantité d'autres composés organiques importants. Si le précipité rouge d'acétylat de cuivre dans une solution d'ammoniaque est traité par du zinc métallique, de l'hydrogène naissant se forme, et de l'éthylène ou gaz oléfiant (C_2H_4) se dégage. Celui-ci, à son tour, peut être combiné avec de l'acide sulfurique pour former de l'acide sulphéthylique :



$$C_2H_4 + H_2SO_4 = C_2H_5HSO$$

Ce dernier, distillé avec de l'eau, donne de l'alcool :



$$C_2H_5HSO + H_2O = C_2H_6O + H_2SO_4$$

Le champ de recherches intelligentes ainsi ouvert dans de si nombreuses directions, frappera tous ceux qui sont, en une façon quelconque, intéressés à la chimie organique, et les résultats qu'on peut déjà prévoir révolutionneront certainement bien des industries.

Dans le but de produire un éclairage meil-

leur et moins cher que par le gaz de houille ordinaire ou par le gaz d'eau ou par le pétrole, on a déjà proposé d'employer l'acétylène; c'est probablement dans ce sens que la première application pratique sera faite. Les hydro-carbures de la série de l'éthylène et de l'acétylène donnent une plus grande valeur éclairante au gaz de houille ; le pouvoir éclairant du gaz à eau est dérivé d'un mélange avec ce gaz non éclairant de vapeurs d'huiles de pétrole, qui font partie de la même série. Puisque le pouvoir éclairant d'un gaz quelconque est en raison directe de la proportion relative de l'hydrogène et du carbone qu'il contient, il est évident que l'acétylène, (C_2H_2), en raison de sa grande proportion de carbone, doit être beaucoup dilué pour éviter qu'il ne brûle avec une abondante fumée. Cependant, lorsqu'il est mélangé en proportion convenable, soit avec du gaz à eau ou avec de l'air atmosphérique ordinaire, la flamme est d'une blancheur et d'un éclat extrême et il ne se produit aucun dégagement de fumée.

Les expériences qui ont été faites par l'Electric Gas Company ont démontré avantageusement qu'une petite tonne de carbure de calcium (908 kg.) produit, après son mélange avec une quantité convenable d'air, un gaz égal en puissance éclairante à 2831,68 m³ de gaz d'éclairage ordinaire donnant de 22 à 25 bougies par brûleur de 465 litres.

Si, au prix déterminé plus haut pour le carbure de calcium, on ajoute environ 75 fr. par tonne pour le transport, l'imprévu et les bénéfices, le prix de vente serait tel que le mètre cube de ce gaz, prêt à être brûlé, coûterait environ 5 1/4 centimes. La facilité avec laquelle le carbure de calcium peut être empaqueté et transporté, jointe à la facile préparation du gaz lui-même, soit en petite, soit en grande quantité et à un moment quelconque, permettrait de l'adopter, sinon pour l'éclairage des grandes villes du moins pour les besoins des hôtels, et des maisons particulières, à la campagne, ou des voitures de tramways.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

La détermination de l'équivalent mécanique de la calorie, par A. Schuster et W. Gannon [1]

Sous le titre : détermination de la chaleur spécifique de l'eau en fonction des unités électriques internationales, les auteurs communiquaient récemment les résultats d'expériences commencées par MM. Schuster et Hadley, avant que ceux-ci eussent connaissance des recherches similaires entreprises par M. Griffiths [2].

Le principe de ces expériences est des plus simples. La quantité de chaleur développée dans un conducteur pendant un intervalle de temps t est

$$Q = \int_0^t EI\,dt,$$

E désignant la différence de potentiel entre les extrémités du conducteur et I l'intensité du courant. E était maintenu constant pendant la durée d'une expérience, la quantité d'électricité $\int_0^t I\,dt$ passant dans le conducteur était mesurée directement au moyen d'un voltamètre à argent et Q était déterminée par une mesure calorimétrique.

Dans ces conditions, il n'était pas nécessaire de connaître, comme dans les expériences de M. Griffiths, la résistance du conducteur échauffé par le courant et, par suite, la difficulté de déterminer l'excès de la température de ce conducteur sur celle de l'eau contenue dans le calorimètre se trouvait évitée. En outre, il était inutile de mesurer le temps pendant lequel durait l'expérience.

Trois séries d'expériences ont été faites, mais les auteurs n'attachent d'importance qu'à la

(1) Mémoire lu devant la Société Royale de Londres.

(2) *Proceedings of the Royal Society*, t. LIII, p. 6; t. LV p. 26 ; *Phil. Trans.*, CLXXXIV, A (1893); *La Lum. électr.*, t. XLIX, p. 205 ; t. LII, p. 392.

dernière, un abaissement du thermomètre s'étant produit dans les deux premiers. Ils ont cherché à évaluer la correction nécessaire pour éliminer l'erreur due à cet abaissement ; mais, après de nombreuses expériences, ils ont constaté que les indications thermométriques pendant un abaissement de température sont si irrégulières qu'aucune correction n'est possible. Aussi ont-ils eu soin que, dans leur troisième série d'expériences, le thermomètre s'élevât pendant toute la durée de cette série.

Ces expériences ont conduit, pour la température de 19°1, aux valeurs de J données ci-dessous, valeurs qui dépendent nécessairement de l'échelle adoptée pour l'évaluation des températures.

J = 4,1804 Joules dans l'échelle du thermomètre à mercure en verre dur français,

4,1905 » dans l'échelle du thermomètre à azote,

4,1917 » dans l'échelle du thermomètre à hydrogène.

Ces résultats supposent que :

1° L'équivalent électrochimique de l'argent est 0,001118 ;

2° La force électromotrice de l'étalon Latimer Clark employé par les auteurs est

$$1,4340 \, [1 - \alpha \, (t - 15)] \text{ volts},$$

où le coefficient α est

$$\alpha = 0,000\,814 + 0,000\,007 \, (t - 15),$$

expression donnée par Kahle et qui conduit, par une température de 7°,5, à une valeur identique à celle qu'ont trouvée expérimentalement MM. Glazebrook et Skinner pour cette température.

Les auteurs passent ensuite à la discussion de leurs résultats et à leur comparaison avec ceux qu'ont fournis les recherches antérieures. Cette comparaison est facilitée par le tableau suivant qui donne les nombres de kilogrammètres à Paris et les nombres de foot-pounds à Greenwich qui correspondent à des nombres d'ergs voisins de J.

Ergs × 10^7	Foot-pounds à Greenwich	Kilogrammètres à Paris
4,160	772,83	424,07
4,165	773,76	424,58
4,170	774,68	425,09
4,175	775,61	425,60
4,180	776,54	426,11
4,185	777,47	426,62
4,190	778,40	427,13
4,195	779,33	427,64
1,200	780,25	428,15
4,205	781,19	428,66
4,210	782,12	429,17

Cette table a été calculée en supposant que

$g = 980,96$ à Paris,

$g = 981,24$ à Greenwich.

Le résultat corrigé de M. Griffiths est

$$J = 4,1982 \, [1 - 0,00266 \, (t - 15)] \times 10^7,$$

la température étant évaluée dans l'échelle du thermomètre à azote. Pour la température de 19°,4 cette formule donne J = 4,1936. Mais ce nombre doit être un peu augmenté, car, dans ses expériences, M. Griffiths mesurait en réalité la différence entre la chaleur spécifique de l'eau et celle de l'air. Les auteurs estiment que l'augmentation doit être de 0,0011 environ ce qui donne $4,1947 \times 10^7$ pour le résultat de M. Griffiths rapporté à 19°,4 du thermomètre à azote.

Ce résultat est exactement de 1/1000 de sa valeur plus grand que celui de MM. Schuster et Gannon. Ces derniers disent à ce sujet :

« Cette différence est petite, mais elle doit être due à quelque erreur systématique, car les diverses valeurs trouvées par Griffiths, d'une part, et les nôtres, d'autre part, sont si concordantes qu'il est impossible que des erreurs d'observation ou des troubles accidentels aient pu produire une telle différence entre nos résultats. La partie la moins satisfaisante d'une mesure calorimétrique étant toujours relative à l'application de la correction du refroidissement, nous avons regardé comme très important de réduire autant que possible cette correction. Cette correction étant mise à part, il nous est difficile de voir comment une différence de 0,1 0/0 a pu s'introduire dans nos

résultats, si ce n'est par l'accumulation de nombreuses petites erreurs.

« Le point faible de la détermination de M. Griffiths est la petite quantité d'eau dont il fait usage, son résultat dépendant de la différence qu'éprouve la vitesse d'accroissement de la température du calorimètre après qu'on y a ajouté 120 grammes d'eau. Le plus grand équivalent en eau avec lequel il opérait était d'environ 360 grammes dont 85 grammes provenaient du calorimètre lui-même. La principale objection à l'emploi d'une si petite quantité d'eau est que la correction relative au refroidissement était alors élevée. »

La comparaison du résultat de MM. Schuster et Gannon avec ceux de Joule, de M. Rowland et de M. Miculescu indique des différences plus importantes.

Les dernières expériences de Joule, faites en 1878, l'ont conduit au nombre 772,65 foot pounds, pour la température de 61°,7 F. Cette température était évaluée à l'aide d'un thermomètre à mercure. Joule lui-même compara ce thermomètre à un thermomètre à air et des résultats de cette comparaison M. Rowland conclut que le nombre de Joule est d'environ trois unités trop faible et qu'il faut lui substituer le nombre 776. M. Schuster ayant pu comparer le thermomètre même de Joule aux thermomètres modernes se trouve conduit à considérer la correction de M. Rowland comme trop élevée et à admettre 775 pour la valeur de J à la même température. Pour la température de 19°,1 on obtient alors 774, nombre beaucoup inférieur au nombre 778,5 qui exprime, dans les mêmes unités, le résultat des auteurs pour la même température.

Les expériences de M. Rowland conduisent à 776,1 pour la température de 19°,1. Ce nombre est donc intermédiaire entre celui de Joule et celui de MM. Schuster et Gannon. Mais ceux-ci pensent qu'il est un peu trop élevé.

Le tableau suivant donne les valeurs de J en foot pounds déduites, pour la température de 19°,1, des résultats de Joule, Rowland, Griffiths, Schuster et Gannon, la température étant évaluée à l'aide du thermomètre à azote de Paris.

Joule	Rowland	Griffiths	Schuster et Gannon
774	776,1	779,1	778,6

Leur comparaison indique que les méthodes électriques conduisent à des nombres plus élevés que les méthodes mécaniques. Cette différence provient-elle de quelque erreur fondamentale dans l'établissement des unités électriques ou plus simplement de quelque défaut des méthodes employées par M. Griffiths et par M. Schuster et Gannon? C'est une question à laquelle ces derniers déclarent ne pas pouvoir répondre pour l'instant.

J. B.

Thermomètre à résistance de platine à lecture directe, par G. M. Clark. [1]

Nos lecteurs ont été, à plusieurs reprises, tenus au courant des recherches faites pour arriver à une détermination précise de la température par les procédés électriques [2] et, en particulier des travaux de MM. Callendar, Clark et Griffiths sur le thermomètre à résistance de platine [3]. Dans sa communication, M. Clark complète ce qui a été dit jusqu'ici sur ces derniers travaux et décrit en outre une forme de thermomètres donnant la température par une simple lecture.

Dans ces thermomètres, le fil de platine a 0,008 cm. de diamètre et est enroulé sur une bobine de 2 pouces de long et 2/3 de pouce de diamètre, de manière à n'avoir pas d'induction, Dans le but d'éliminer les effets des variations de résistance des conducteurs qui relient la bobine à l'indicateur, deux autres conducteurs identiques, appelés compensateurs, sont disposés parallèlement aux premiers ; ces fils

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association britannique.

(2) C. E. Guillaume. *La Lum. électr.*, t. XXVIII, p. 201, 312, 409, 454, 506, 601, 1888. — J. Blondin. *La Lum. électr.*, t. XLVII, p. 21, 75, 125; 1893.

(3) *La Lum électr.*, t. XXVIII, p. 454 ; t. XLIV, p. 73 t. XLVII, p. 22 et 75.

compensateurs sont réunis entre eux à la hauteur de la bobine, ils sont reliés à l'appareil indicateur de la température ainsi qu'il sera dit plus loin. Les quatre conducteurs sont en platine sur 12 pouces de longueur ; ils sont isolés les uns des autres par des rondelles de porcelaine et sont protégés, ainsi que la bobine, par un tube de porcelaine vernie, entouré luimême, quand il en est besoin, par un tube de fer. Cette protection est indispensable principalement lorsqu'on destine l'appareil à la détermination de la température des gaz d'un foyer ; si l'on ne prend, pas ces précautions on s'expose à produire, ainsi que cela a eu lieu dans les anciennes expériences, des variations permanentes de la résistance du platine.

Les extrémités des quatre conducteurs sont reliées, au moyen de vis de pression, à des fils aboutissant à l'indicateur. Ces fils peuvent avoir une certaine longueur pourvu que leur résistance ne dépasse pas 0,5 ohms. Les indications peuvent donc être lues à quelque distance de l'endroit dont il s'agit d'évaluer la température.

La résistance de la bobine de platine est ajustée de telle sorte que sa variation soit exactement de 1 ohm quand on passe de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante. En d'autres termes, chaque degré équivaut à une variation de résistance de 0,01 ohm. La résistance satisfaisant à cette condition est 0,258 ohm. à 0° C.

L'indicateur des températures consiste essentiellement en un pont de Wheatstone et un galvanomètre disposé spécialement.

Deux des branches du pont sont égales et ont une résistance de 20 ohms environ. Dans la troisième se trouvent 15 bobines de résistance de 1 ohm chacune, montées en série entre elles et avec la résistance thermométrique. La quatrième branche est formée par les conducteurs compensateurs et par une résistance telle que le pont est en équilibre quand la résistance thermométrique est à 0°C. Le courant est fourni par une pile sèche donnant une différence de potentiel de 2 volts environ entre les pôles du pont; son intensité est dès lors de 0,1 ampère.

La partie mobile du galvanomètre est constituée par un système de barreaux aimantés pivotant sur une pointe d'aiguille et portant une longue aiguille d'aluminium oscillant dans un plan horizontal. Le mouvement de ce système est produit par deux paires de bobines dont l'une est parallèle à la direction de l'index quand celui-ci est sur le zéro de l'échelle et dont l'autre est perpendiculaire à cette direction. La première paire joue le même rôle que les bobines galvanométriques ordinaires; la seconde est intercalée dans le circuit principal de la pile. La résistance de chacune des branches du pont demeurant pratiquement constante, le courant qui passe à travers les bobines galvanométriques sera toujours la même fraction du courant fourni par la pile, quelle que soit la force électromotrice de cette pile ; par suite, les déviations du galvanomètre seront indépendantes de l'intensité du courant fourni par la pile. Au moyen d'une faible résistance réunissant les deux bobines placées dans le circuit principal de cette pile, on modifie l'intensité du courant traversant ces bobines de manière à ce que l'aiguille se déplace d'une extrémité à l'autre de l'échelle pour un accroissement de 1 ohm de la résistance de la branche contenant le thermomètre. Cette échelle étant divisée en 50 parties, chaque division correspond donc à une variation de 1/50° d'hom, soit une variation de température de 2°. Comme ces divisions ont une longueur de 1/25° de pouce environ, la lecture de la température se fait facilement à 1° près. Pour plus de facilité dans les lectures, l'échelle est double, chacune des parties étant symétrique par rapport au zéro ; de cette façon, une variation de température de 200° peut être observée sans qu'on ait à toucher aux bobines de résistance de la branche contenant le thermomètre.

Toutes les bobines de résistance sont faites avec du fil de cuivre au manganèse, recuit et bien protégé de l'air. Il n'y a, par suite, aucune correction à faire pour la variation de

température de l'air ambiant. Il n'y a pas non plus lieu de tenir compte des variations de température des conducteurs reliant la bobine à l'indicateur, puisque les variations de résistance qui en résultent, sont compensées par celles des fils compensateurs intercalés dans la branche opposée du pont. L'équilibre du pont est donc seulement affecté par la variation de résistance de la bobine thermométrique. Quand la température de celle-ci passera de 0 à 100° sa résistance s'accroîtra de 1 ohm et l'aiguille du galvanomètre ira d'une extrémité à l'autre de l'échelle. Si on diminue alors de 1 ohm la résistance de la branche contenant le thermomètre, en mettant en court circuit les extrémités d'une des bobines qui sont intercalées dans cette branche, l'aiguille du galvanomètre retourne au zéro et, si la température s'élève encore, cette aiguille se meut de nouveau sur l'échelle. Les centaines de degrés sont donc immédiatement indiquées par le nombre des bobines mises en court circuit tandis que les dizaines et les unités sont données par la position de l'aiguille sur l'échelle.

Cette disposition présente l'avantage qu'une erreur dans le réglage primitif de la déviation de l'aiguille pour une variation de température de 100°, ou un changement de l'aimantation des barreaux, ne donne pas lieu à des erreurs cumulatives. On pourrait objecter que la division de l'échelle en parties égales n'est pas celle qui conviendrait le mieux. Mais, d'après l'auteur, l'erreur qui résulte de ce mode de division est très petite pour un intervalle de température de 100°.

Une autre objection qui a souvent été faite au thermomètre à résistance de platine est le déplacement qu'éprouvent les points fixes 0 et 100° quand l'appareil est porté à de très hautes températures. Cette objection, valable pour les premiers thermomètres construits il y a une vingtaine d'années, ne l'est plus pour les nouveaux. L'observation suivante le prouve : Dans une expérience où le thermomètre était plongé dans un bain d'argent fondu, le creuset contenant le métal se brisa et avant qu'on se fût aperçu de sa rupture la température s'était élevée au point de fondre le tube protecteur de porcelaine qui s'incrusta entre les spires de la bobine thermométrique ; en plongeant ensuite cette bobine dans de la glace fondante, l'aiguille du galvanomètre revint au zéro.

Il est bien évident que la température donnée par l'appareil ne peut être celle qu'indiquerait un thermomètre à mercure ; elle est exprimée dans l'échelle dite *échelle de la résistance de platine* et définie par la relation

$$t = \frac{R - R_0}{\frac{R_{100} - R_0}{100}}$$

ou R_0 est la résistance de la bobine thermométrique dans la glace fondante, R_{100} sa résistance dans la vapeur d'eau bouillante sous la pression normale et R, sa résistance à la température que l'on veut évaluer. Pour avoir l'expression T de cette température dans l'échelle du thermomètre à gaz, il faut faire usage de la relation, établie expérimentalement par M. Callendar et vérifiée par MM. Griffiths et Clark,

$$t - T = \delta T\,(100 - T)\,10^{-4}, \qquad (1)$$

où δ désigne un coefficient numérique dont la valeur varie entre 1,46 et 1,63 suivant le fil de platine de la bobine thermométrique. Toutefois, dans tous les cas où le peu de précision des mesures permettrait de prendre sans correction la température indiquée par un thermomètre à mercure, on pourra prendre sans correction le nombre indiqué par le thermomètre de M. Clark, l'écart entre ce nombre et celui qu'indiquerait un thermomètre à gaz n'étant pas plus grand que l'écart entre ce dernier et le nombre donné par un thermomètre à mercure.

On sait que la formule (1) n'a été établie expérimentalement que pour les températures inférieures à 650°. Dans sa communication, M. Clark dit qu'elle lui paraît applicable au delà de cette température et rappelle qu'il résulte d'un travail fait par M. Griffiths et lui, en 1892, qu'elle est certainement applicable aux plus basses températures que l'on peut obtenir.

Comme preuve de l'exactitude de cette formule aux températures inférieures à 700°, M. Clark cite le fait suivant : En déterminant le point d'ébullition du soufre au moyen d'un thermomètre à résistance de platine et par l'application de la formule de Callandar, M. Griffiths obtient 444° de l'échelle du thermomètre à air. Ce nombre différant du nombre donné par Regnault, 448°,3, M. Griffiths en conclut que la relation de M. Callendar n'était pas exacte dans le voisinage de 450°. En réalité il n'en était rien, car en déterminant directement par le thermomètre à air le point d'ébullition du soufre on trouva, plus tard, 444°,5.

En terminant M. Clark propose d'évaluer les températures très élevées qui ne peuvent être déterminées directement par le thermomètre à air, dans l'échelle d'un thermomètre étalon à résistance de platine pour lequel le coefficient δ aurait une certaine valeur déterminée, par exemple 1,5. Il fait observer qu'il n'est pas d'ailleurs indispensable qu'un tel thermomètre existe réellement, car il est toujours possible de réduire à cette échelle les températures observées avec un thermomètre à résistance de platine pour lequel δ aurait une autre valeur.

J.-B.

Expériences démontrant la théorie de la lumière de Maxwell. — Théorie électrique de la vision (¹)

Dans sa première communication, l'auteur insiste sur l'extrême sensibilité que possèdent pour l'étude des ondes électriques les appareils qui, comme les tubes remplis de limaille métalliques, sont fondés sur la variation de résistance d'un mauvais contact entre leurs parties conductrices (²). Il propose d'appeler ces instruments adhéreurs (coherer) pour rappeler ce fait que leur résistance diminue sous l'action des ondes électriques comme si les molécules solides possédaient alors une adhérence plus grande qu'avant le passage des ondes, augmentation d'adhérence qu'un simple choc détruit immédiatement.

En employant un de ces appareils, placé à environ 2 m. de distance de l'excitateur sphérique de M. Lodge, ce savant à pu déceler les ondes de faible intensité produites en chargeant l'excitateur avec un électrophore et il ajoute qu'en se plaçant dans de meilleures conditions, il a pu déceler les ondes à près de 70 m. du point où elles étaient produites.

Au moyen de cet excitateur et de cette sorte de résonateur, M. Lodge a effectué devant l'auditoire de nombreuses expériences sur les phénomènes de réflexion, de réfraction et de polarisation d'ondes électriques de 22 cm. de longueur d'onde environ. Les phénomènes de polarisation étaient observés à l'aide de réseaux de fils métalliques qui interceptent les ondes vibrant parallèlement à la direction des fils et laissent passer celles dont les vibrations sont perpendiculaires à cette direction. Une expérience intéressante consistait à décomposer un faisceau déjà polarisé en deux autres polarisés à angle droit. La réflexion des ondes sur une feuille de papier doré et sur une surface de bois était accompagnée d'une polarisation du faisceau réfléchi qui passait par un maximum pour une certaine valeur de l'incidence. La réfraction des ondes était montrée au moyen d'un prisme et au moyen d'une lentille cylindrique en paraffine.

Dans sa seconde communication, M. Lodge appelle l'attention des physiologistes sur le mécanisme de la vision qui lui semble pouvoir être rattaché aux actions des ondes électriques sur la résistance des poudres métalliques. D'après M. Lodge, les bâtonnets et les cônes de la rétine joueraient, par rapport aux ondes lumineuses, le même rôle que les poudres métalliques par rapport aux ondes électromagnétiques de longueur d'onde relativement grande;

(¹) Communications faites au Meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

(²) Voir à ce sujet les articles de M. Branly (*Lum. électr.*, t. XL, p. 301 et 506, 1891, et t. LI, p. 526, 1894), ainsi que ceux de M. Minchin et M. Lodge (*Phil. Mag.*, t. XXXVII, p. 90 et 94, 1894; *La Lum. électr.*, t. XLI, p. 486 et p. 488).

la résistance de quelques-unes de leurs parties varierait et donnerait lieu à une variation de courant affectant les nerfs optiques. Mais cette hypothèse ne suffit pas, car les limailles métalliques conservent pendant quelque temps la conductibilité acquise par le passage des premières ondes électriques et, s'il en était de même dans les bâtonnets et les cônes de l'œil, le courant ne serait pas constamment variable et ne pourrait affecter d'une manière continue les nerfs optiques. Il faut donc admettre l'existence de quelque phénomène qui, comme les chocs que l'on donne aux tubes à limailles métalliques, ramène la résistance des cônes et des bâtonnets à ce qu'elle était avant l'arrivée des premières ondes lumineuses. Suivant M. Lodge ce serait la sensation de l'obscurité qui ramènerait la résistance à sa valeur primitive.

Cette explication du mécanisme de la vision était illustrée par une expérience montrant que, si l'on donne une série de chocs très rapides à l'adhéreur au moyen d'un mécanisme d'horlogerie, l'adhéreur devient sensible à une succession continue d'ondes électriques.

J. B.

Description d'un galvanomètre Thomson très sensible, et quelques méthodes de construction du galvanomètre, par F. L. O. Wadsworth (¹).

L'auteur s'étend longuement sur la description d'un galvanomètre construit, d'après ses indications, par MM. Elliot Brothers et destiné aux recherches bolométriques de l'Observatoire astro-physique de Washington.

L'appareil est à quatre bobines; la figure 1 représente la coupe de l'une d'elles; le tableau suivant donne le diamètre, le nombre de tours et la résistance des cinq couches qui la composent.

Couches	Diamètre du fil	Nomb. tours	Résist. à 20° C.
N° I (interne)	0,0605" (37 B. W. G.)	255	4,48 ohms vrais
N° II	0,012" (30 —)	410	4,21 —
N° III	0,021" (25 —)	640	4.13 —
N° IV	0,025" (23 —)	551	4,25 —
N° V (externe)	0,030" (22 —)	540	4,28 —

Le nombre total des tours est de 2396; la résistance totale, 21,35 ohms; le rayon de la couche centrale, 2 mm.; celui de la couche extérieure, 50 mm.; l'épaisseur de la bobine, 40 mm. Le diamètre du fil croît un peu plus rapidement que le rayon moyen de la couche qu'il forme; l'épaisseur de l'isolant est relativement plus grande pour les fils les plus fins que pour les plus épais. Le nombre total des fils dans les quatre bobines est 9593 et leur résistance totale (en série) est 86 ohms à 20° C.

Chaque bobine est fixée au moyen de mastic dans une monture en cuivre. Les deux montures des bobines situées d'un même côté du système magnétique sont vissées sur une pièce en cuivre en forme de L supportée par trois vis calantes *a* (la figure 2 ne permet d'en voir qu'une) qui servent à régler la position verticale des bobines ; une vis *d* qui s'enfonce dans le socle de l'appareil (lui-même supporté par trois vis calantes) permet de fixer le système dans la position qu'on lui a donnée.

Le système magnétique et le miroir sont fixés au moyen d'une goutte de mastic épais sur une fibre de verre de 15 cm. de longueur et ne pesant que 5 mgr.. On obtient une telle fibre en pinçant une tige de verre par son extrémité supérieur et attachant à son extrémité inférieure un poids reposant sur une trappe ; on ramollit le verre au moyen de deux Bunsen et on tire la trappe ; la tige s'étire sous l'action du poids. Le système magnétique est formé de deux groupes de cinq petits aimants de 2 à 3 mm. de longueur obtenus en cassant à la longueur voulue de fines aiguilles à coudre. Il est aimanté et astatisé par une méthode décrite récemment par l'auteur. Le miroir n'a que 2,5 mm. de diamètre et ne pèse que 12 mgr.

L'ensemble de la fibre de verre, du miroir et des aimants ne pèse guère que 40 mgr. Il est suspendu à une fibre de quartz fixée par son extrémité supérieure à une pince portée par un tube de verre de 40 cm. de long. Ce tube de verre est maintenu en place par la

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 553-558, décembre 1894.

compression de deux petits anneaux en caoutchouc entre la surface extérieure du tube de verre et la surface interne d'un tube métallique de diamètre un peu plus grand, fixé à la cage du galvanomètre. Par cette disposition, les vibrations de la cage sont arrêtées par les bagues de caoutchouc et ne peuvent influencer le système magnétique.

L'amortissement de l'aiguille est obtenu par une aile de demoiselle fixée derrière le miroir et par quatre petits cylindres de cuivre placés suivant les axes des bobines.

L'intensité du courant capable de produire un déplacement de 1 mm. sur une échelle placée à 1 mètre du miroir est environ 4×10^{-11} ampère, l'aiguille ayant une durée d'oscillation simple de 10 secondes et les bobines étant en série ; elle est du même ordre de grandeur que celle qui produit le même effet dans un galvanomètre de très grande sensibilité construit récemment par Snow [1] et dont la résistance était de 140 ohms.

L'auteur passe ensuite à l'examen des conditions requises pour obtenir la plus grande sensibilité.

M. Boys et, plus récemment, M. Paschen, ont fait remarquer que, pour une valeur fixe de la durée d'oscillation, un galvanomètre est d'autant plus sensible que le poids de l'aiguille est plus petit. Cette remarque a été mise à profit par MM. Du Bois et Rubens qui ont pu obtenir, en prenant des aiguilles très légères, des galvanomètres commerciaux aussi sensibles que celui de Snow.

Mais l'auteur estime qu'il est mauvais de se fixer une durée d'oscillation, car il en résulte cette condition que le système magnétique doit être de moins en moins astatique à mesurer que le poids s'accroît. A son avis, il est préférable de se fixer une valeur de la différence des moments magnétiques des deux parties du système, et de chercher dans quel cas on aura alors la plus grande sensibilité. En partant de ce point de vue, on trouve que la sensibilité augmente en même temps que la masse de l'aiguille, les bobines étant toujours supposées convenablement proportionnées par rapport au système magnétique.

Cette conclusion de l'auteur peut être facilement établie par le calcul.

Assimilons chacune des deux parties du système magnétique à un disque aimanté dont le diamètre $2r$ est égal à la longueur du plus grand aimant et dont l'épaisseur w est telle que la masse du disque est égale à la somme des masses des aimants individuels qu'il remplace. La masse de chaque disque est alors $A r^2 w$ et son moment d'inertie $B r^4 W$. Soient $A' r_0^2 w_0$ et $B' r_0^4 w_0$ la masse et le moment d'inertie du miroir. On a pour la durée d'oscillation, M désignant le moment magnétique du système et H l'intensité du champ dans lequel il se meut,

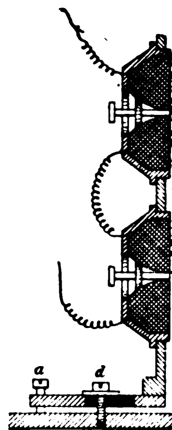


Fig. 2

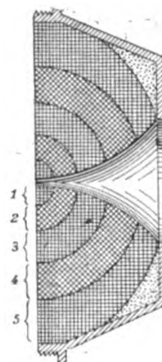


Fig. 1

Fig. 1. — Coupe d'une des bobines.
Fig. 2. — Montage des bobines.

$$t = \pi \sqrt{\frac{I}{MH}} = \pi \sqrt{\frac{Bwr^4 + B'w_0 r_0^4}{MH}}.$$

Le moment de la force requise pour produire une déviation θ du système est FCm ; C étant l'intensité du courant circulant dans les bobines, m le moment magnétique de chaque partie du système et F étant une constante dépendant des constantes des bobines, de l'intensité de magnétisation, etc. Mais, d'autre part, ce moment est aussi égal à $MH\theta$; par conséquent,

$$MH = \frac{F}{\theta} Cm = F' Cwr^3,$$

(1) *Wied. Ann.* t. XLVII 218 p. (1892).

car le moment magnétique est, pour la même intensité de magnétisation de différents disques, proportionnel à la masse du disque, c'est-à-dire à wr^3. Il vient donc finalement

$$t = \pi \sqrt{\frac{B'' r^3}{C} + \frac{B'''}{C}}$$

Par conséquent, si t est constant, comme le supposent M. Boys et M. Paschen, l'intensité C du courant produisant une certaine déviation varie comme r^3 plus une constante ; la sensibilité s'accroîtra donc un peu moins rapidement que la diminution de r^3, c'est-à-dire de la masse du système.

D'un autre côté, si on ne s'impose aucune limite pour la durée de vibration, mais qu'on suppose le moment magnétique du système constant, on aura MH = const, et, en vertu de la deuxième des égalités ci-dessus, Cm = const. On voit donc que la sensibilité croît en même temps que la masse augmente.

Il résulte de là qu'il n'est pas indispensable de réduire énormément la masse du système pour obtenir une grande sensibilité. Toutefois, si la sensibilité est grande et le poids assez grand aussi, la durée d'oscillation pourra devenir très considérable, ce qui est souvent gênant. Mais, d'autre part, si on arrive à une grande sensibilité par une diminution trop grande du poids du système, celui-ci se mettra en mouvement sous l'action de la plus faible vibration. Les circonstances d'emploi de l'instrument détermineront donc le moyen auquel on devra avoir recours pour augmenter la sensibilité.

J. B.

Rotations électro-statiques dans les gaz raréfiés, par Ricardo Arno [1].

Parmi les célèbres expériences de Crookes sur la matière radiante, il en est une qui consiste à faire mouvoir un moulinet sous l'action des décharges électriques, mouvement attribué par Crookes à un bombardement moléculaire dirigé de la cathode vers l'anode. M. Arno montre que l'on peu produire la rotation d'un moulinet, placé dans une ampoule dant le gaz est suffisamment raréfié, par l'action d'un champ électro-statique tournant.

Le champ tournant est obtenu par une méthode, déjà utilisée par l'auteur dans un travail antérieur [1] et qui consiste à produire entre les extrémités du circuit secondaire d'une grande bobine de Ruhmkorff, non munie d'interrupteur et fonctionnant comme un transformateur ordinaire, une différence de potentiel alternative au moyen d'un courant alternatif lancé dans le circuit primaire ; le circuit secondaire est convenablement relié à quatre lames métalliques verticales, formant une surface cylindrique incomplète et situées à 90° l'une de l'autre sur cette surface.

Entre ces quatres lames, est située une ampoule de verre, à l'intérieur de laquelle se trouve un moulin formé de quatre ailettes de laiton et mobile autour d'un axe vertical ; l'air du tube est porté à un degré de raréfaction extrême. Quand la bobine fonctionne, on voit les ailettes tourner dans le sens de la rotation du champ. Si on renverse ce sens le mouvement des ailettes se produit en sens inverse.

Dans les expériences de l'auteur, le courant alternatif employé avait une fréquence d'environ 42 ; la force électro-motrice efficace entre les extrémités du circuit secondaire de la bobine était de 7500 volts ; le diamètre de la surface cylindrique formée par les lames était de 15 cm. Dans ces conditions l'intensité du champ tournant était de 1,167 unités électro-statiques C. G. S. et sa vitesse de rotation de 40 tours par seconde. Le moulinet faisait alors 50 tours par minute.

On ne pouvait employer dans ces expériences un radiomètre ordinaire à ailette de mica. On sait, en effet, que les diélectriques soumis à l'action d'un champ alternatif se

[1] *Atti d. R. Acc. d. Scienze di Torino*, t. XXIX, 1894 ; *Il nuovo Cimento*, t XXXVI, p. 249-252. novembre 1894

[1] *Rend. d. R. Acc. dei Lincei* oct. 1892, p. 284.

meuvent sous l'action d'un couple qui, dans le cas d'un champ tournant, ferait tourner un moulinet diélectrique dans le sens du champ. Il était donc indispensable de prendre, comme le fait l'auteur, un moulinet métallique. M. Arno s'est d'ailleurs assuré qu'avec un tel moulinet l'action que nous venons de signaler ne pouvait se produire. Ce moulinet suspendu dans l'air sous la pression ordinaire et soumis à l'action d'un champ tournant intense restait dans sa position d'équilibre, tandis qu'un moulinet à ailettes de mica placé dans les mêmes conditions était fortement dévié.

Sous l'action du champ, le gaz raréfié contenu dans l'ampoule s'illuminait assez fortement pour que, dans l'obscurité complète, on pût compter le nombre des tours du moulinet.

L'auteur attribue la rotation observée à un bombardement du moulinet par les molécules du gaz raréfié, ces molécules se mouvant dans le sens de la rotation du champ sous l'influence de ce champ lui-même.

J.-B.

Sur le pouvoir thermoélectrique des électrolytes, par Sylvio Lussana [1]

Dans une récente publication, M. Bayard[2] étudie la force électromotrice thermoélectrique entre deux solutions de sels différents et entre deux dissoluions d'un même sel à divers degrés de concentration. Il résulte de cette étude que les éléments thermoélectriques constitués par des liquides sont soumis à toutes les lois qui régissent les phénomènes thermoélectriques entre les métaux ; ainsi ils suivent la *loi des corps intermédiaires*, ils présentent un *point neutre* et une *température d'inversion* etc. J'étais parvenu à ces conclusions dans un travail antérieur sur le pouvoir thermoélectrique de solutions d'électrolytes différents et de solutions d'un même électrolyte [1]. Dans un travail plus récent [2], j'arrivai à des conclusions absolument semblables pour le pouvoir thermoélectrique des électrolytes sous l'état solide. Je suis heureux de voir confirmer par M. Bayard, les résultats que j'ai obtenus, mais je me permets de faire observer qu'une partie des résultats relatifs aux électrolytes dissous n'était pas encore connus quand je publiai mon premier travail et qu'aucune recherche n'a été faite avant la mienne sur les électrolytes dissous. »

J. B.

(1) *Il. Nuovo Cimento*, t. XXXVI, p. 252, novembre 1894.

(2) BAYARD. *Ann. de Ch. et de Phys.* (7), t. III, p. 83, 1894. — *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 376.

(1) S. LUSSANA. Recherches expérimentales sur le pouvoir thermoélectrique dans les électrolytes ; *Atti Is. Ven* (7), t. IV, p. 477 ; 1892-93. — *Il N. Cimento* (3), t. XXXIV ; 1893.

(2) S. LUSSANA. La thermoélectricité dans les électrolytes à l'état solide ; influence d'une transformation moléculaire. — *At. Is. Ven.* (7), t. IV, p. 1489 ; 1892-93. — *Il N. Cim.* t. XXXV, p. 126 ; 1894.

CORRESPONDANCE

La Haye, 17 janvier 1895.

Monsieur le Rédacteur,

Afin d'éviter des pertes de temps et d'argent aux personnes qui voudront peut-être s'occuper à construire les machines impossibles à courant continu sans commutateur que M. Riccardo Malagoli suggère dans le dernier numéro de votre estimable journal, il me semble utile de faire remarquer que les déductions de M. Malagoli ne sont pas exactes. Il oublie dans sa conclusion (quoiqu'il le dise lui-même d'abord) « qu'un pôle magnétique nord, par exemple, *prendra naissance* dans la partie supérieure de l'anneau et tournera vers la droite. » Je souligne.

L'apparition d'un pôle nord au point A (voy. fig. 2, p. 2) donne lieu à une induction de sens opposé à celle produite par le mouvement de ce pôle de A à C. De plus les quantités d'électricité sont les mêmes dans les deux cas. Il est donc pour ainsi dire évident (et du reste facile

à prouver rigoureusement par les formules élémentaires des lois de l'induction) que si, en combinant les deux causes d'induction (champ tournant alternatif), l'une l'emporte sur l'autre en un certain endroit, l'inverse devra avoir lieu en un autre endroit du parcours de A à C. On n'obtiendra donc qu'un courant alternatif et non pas continu.

Veuillez agréer, Monsieur, mes civilités empressées.

C.-L.-R.-E. MENGES.

NÉCROLOGIE

Le P. F. Denza

Le 14 décembre 1894, est mort à l'observatoire du Vatican un des plus éminents météorologistes et astronomes de ces temps, le Père François Denza, barnabite. La science électrique le comptait au nombre de ses plus ardents partisans. Nous aurons à revenir sur ses travaux. Pour aujourd'hui, nous nous bornerons à résumer en quelques lignes sa carrière scientifique.

Le P. Denza, né à Naples en 1834, passa la plus grande partie de sa vie à enseigner les mathématiques et la physique au collège Charles-Albert, à Moncalieri. Il prit place rapidement parmi les apôtres de la météorologie. Sobre de paroles, prodigue d'actions, il commença ses conquêtes scientifiques par le Piémont et, sous son impulsion, un réseau serré de stations et de *vedettes* météorologiques couvrit le pays en peu de temps. Il étendit son œuvre à la Lombardie, à la Ligurie, à la Vénétie et plus tard à toute la Péninsule. Ayant ainsi créé la Société météorologique italienne, le P. Denza en resta l'âme, il en dirigea les publications périodiques; il fut le promoteur et le président des assemblées triennales de Turin, Naples, Florence, Venise.

Depuis 1873 jusqu'à son dernier moment, il prit part aux congrès scientifiques européens les plus importants. Il y recueillit les récompenses honorifiques de tous les Etats d'Europe. En 1884, il fut un des plus ardents organisateurs de l'exposition nationale de Turin. Il justifiait le mot que la science n'a pas de patrie et qu'elle n'est la spécialité d'aucune caste. Ce prêtre fut un savant, et ce savant fut un cosmopolite.

Depuis 1886 il fut en pleine lutte, terrassé par le mal qui devait l'enlever. Frappé d'hémiplégie, il n'en conserva pas moins, avec une rare énergie, sa puissance de travail. Il ajouta même de nouvelles études aux anciennes. Il collabora à l'Annuaire de Trèves, dirigea l'Annuaire Météorologique, présida l'Académie pontificale des « Lincei », collabora, comme par le passé, à plusieurs publications périodiques tant italiennes qu'étrangères. Secondé avec une munificence royale par Léon XIII, il s'adonna avec une ardeur de jeune homme et toute la fougue de son tempérament napolitain à l'organisation complète d'un nouvel observatoire au Vatican, observatoire qui est un modèle du genre.

Mais à peine avait-il accompli la première partie de sa tâche, que le P. Denza fut frappé d'une nouvelle attaque qui devait l'emporter.

Successeur brillant du P. Secchi, météorologiste passionné, le P. Denza avait poursuivi de savantes recherches sur l'origine de l'électricité atmosphérique, sur sa distribution, sur la direction des courants telluriques, etc. Son nom appartenait déjà à l'éclairage électrique. Il figurera avec honneur dans l'histoire des sciences et restera comme un témoignage de volonté et d'énergie. Dans ces neuf années de travail ininterrompu malgré le terrible obstacle de la paralysie, le P. Denza a su non seulement se faire admirer mais aimer de tous les laborieux auxquels il donnait un magnifique exemple d'attachement à la science. Nous sommes heureux de nous associer à l'éloge que notre éminent confrère le R. Giovannozzi, directeur de l'observatoire de Florence, a fait du savant et vaillant météorologiste Francesco Denza.

P. MARCILLAC

CHRONIQUE

Concours de la Société industrielle d'Amiens. — Cette Société a mis au concours, pour l'année 1894-95, les questions suivantes :

Médaille d'or.—Pour un générateur mécanique ou chimique d'électricité remplissant les meilleures conditions de rendement et d'économie.

Médaille d'or. — Pour un appareil propre à l'épuration des eaux servant à l'alimentation des chaudières à vapeur.

Cet appareil devra être peu coûteux, simple, peu encombrant et devra exiger peu de surveillance.

Médaille d'or. — Pour la meilleure installation d'éclairage électrique fonctionnant depuis un an au moins dans un établissement industriel. Cette installation devra être plus économique que le gaz.

On prendra pour point de comparaison le prix de revient dans un établissement industriel de 300 à 500 becs, fabriquant lui-même son gaz.

Médaille d'or. — Pour un clapet automatique d'arrêt de vapeur répondant aux prescriptions du décret du 26 juin 1886, et remplissant les conditions suivantes .

Suppression absolue de toute fermeture intempestive et prix très modéré.

L'appareil présenté devra être en fonctionnement depuis un an au moins dans une usine de la région et être susceptible d'être vérifié en marche courante.

Médaille d'or. — Pour la meilleure étude expérimentale sur l'écoulement de la vapeur dans les conduites.

Le mémoire devra, comme conclusion des expériences relatées, déterminer le diamètre exact à donner aux conduites de vapeur.

Une étude purement théorique sera considérée comme insuffisante.

Questions laissées au choix des concurrents :

La Société industrielle accordera des récompenses à tout appareil rentrant dans la compétence du Comité de mécanique et rendant de sérieux services dans l'industrie.

La Société accordera une médaille d'or pouvant atteindre la valeur de 200 francs, à tout mémoire qui lui paraîtra mériter ce prix.

Les candidats auront toute liberté de choisir leurs sujets pourvu qu'ils rentrent dans les études des divers comités : 1° arts et mécaniques; 2° fils et tissus; 3° histoire naturelle, physique, chimie et agriculture; 4° commerce et économie politique et sociale.

Les tramways électriques et les services des pompiers, en Amérique. — Le 15 décembre, vers dix heures du matin, les sapeurs-pompiers de la ville de Newburgh (N.-Y.), recevaient un appel d'un des avertisseurs. Les hommes se mirent en route; une partie du matériel était porté sur une voiture à bras à quatre roues. Comme les hommes passaient devant la station centrale des tramways électriques, le directeur de la Compagnie leur proposa de monter dans une voiture qu'il fit mettre en service immédiatement et à laquelle le wagon fut attelé. De la sorte, la voiture à bras arriva sur le lieu du sinistre avant les pompes à vapeur traînées par des chevaux; les pompiers, nullement fatigués, purent faire un meilleur service.

Un singulier phénomène a été observé à New-York sur un tramway électrique pendant l'un des derniers orages. Par suite de l'état atmosphérique et de la relation entre la voiture et la ligne aérienne, l'électricien reçut de nombreuses secousses dans la manœuvre de ses appareils : et, chose plus curieuses, chaque fois que le conducteur chargé de la perception des places prenait l'argent des voyageurs ou en rendait, de violentes secousses pour l'une et l'autre partie en étaient la conséquence. On ne put éviter ces secousses désagréables qu'en laissant tomber la monnaie d'une certaine hauteur dans la main du conducteur.

L'industrie de l'aluminium, qui est redevable de la plupart de ses progrès à l'électricité, est à peu près limitée à la France, à l'Allemagne et aux Etats-Unis.

Voici, pour ce dernier pays, la marche ascendante bien remarquable qu'a subi la production de ce métal dans ces dernières années :

1888...	9 500 kil.	1892...	130 000 kil.
1889...	22 000 —	1093...	171 000 —
1890...	30 500 —	1894...	321 000 —
1891...	75 000 —		

Si la production de l'aluminium continue à augmenter dans ces proportions considérables, ce métal pourra être bientôt livré au prix de 3 francs le kilogramme, ce qui lui permettra, étant donnée sa légèreté, de remplacer le cuivre dans beaucoup d'applications.

On médit assez souvent des fils électriques, que l'on rend souvent responsables d'incendies, pour que nous ne laissions pas sans mention le fait suivant, signalé par un correspondant de l'*Electrician* de Londres.

Le gérant d'un hôtel de Naples fut éveillé par le tintement continu d'une sonnerie électrique. En en recherchant la cause, on trouva une partie de la maison en feu. La flamme avait consumé la couverture isolante des fils qui, venant en contact, avaient fermé le circuit de la sonnerie.

Le 29 décembre dernier un accident assez singulier s'est produit daas une rue de Londres (Euston-road). Une explosion souteraine a soulevé le pavage de la rue et a projeté au loin la plaque d'une boîte de jonction de la canalisation électrique. On a constaté que du gaz d'éclairage échappé de conduites voisines s'était accumulé dans la boîte de jonction. Que l'inflammation de ce mélange explosible ait été due à une étincelle électrique ou à l'allumette mal éteinte d'un fumeur, comme toujours on n'en sait rien.

L'industrie électrique en France

Château-Porcien. — Un traité pour l'éclairage électrique de cette ville a été signé entre M. Fossez, meunier, et la ville.

M. Fossez, s'engage à fournir à la ville l'éclairage à raison de 10 centimes par lampe et par jour, soit 36,50 francs par an et par lampe de 16 bougies.

Hanoï (Tonkin). — On a posé le 12 novembre dernier, à Hanoï, le premier réverbère à arc sur le boulevard Francis-Garnier. Pour laisser toute liberté à la circulation des véhicules, ces réverbères sont placés contre la bordure des trottoirs.

Langeac (*Haute-Loire*). — Cette petite ville est décidée à profiter des avantages que sa situation en plein bassin houiller présente pour elle au point de vue de l'éclairage électrique. Les travaux d'installation d'une usine d'électricité vont commencer prochainement.

Lyon. — La Compagnie des Omnibus et Tramways de Lyon paraît décidée à engager une somme de six millions pour étendre la traction électrique à tout son réseau. Elle demande en retour la prolongation de la durée de sa concession afin d'avoir le temps d'amortir l'augmentation considérable de son capital.

Matche (*Doubs*). — Le mois dernier a eu lieu à la Goule une réunion en vue de l'adoption de l'éclairage électrique dans ce petit chef-lieu de canton d'environ 1500 habitants. D'ailleurs, l'installation hydraulique de la Goule ne servira pas qu'à l'éclairage de cette localité et deviendra probablement le centre d'une distribution à toutes les communes environnantes. Maîche, Charquemont, Charmauvilliers et Damprichard.

Moirans (*Isère*). — La municipalité va demander à plusieurs ingénieurs des devis pour l'installation de l'éclairage électrique et accorder une subvention à l'auteur du projet le plus avantageux.

Le chiffre de cette subvention serait assez élevé pour permettre à la société exploitante de livrer au public la lumière et la force motrice à des prix très bas.

Morteau (*Doubs*). — Un industriel de Paris a demandé la concession de la source du Dessoubre, située sur la commune des Maisonnettes, à l'effet d'établir une usine qui transmettrait à Morteau l'électricité nécessaire à l'éclairage et à la mise en marche des fabriques d'horlogerie.

Nice. — La Société des tramways de Nice a présenté, en 1892, une demande en concession d'une ligne de tramways électriques à établir entre Cannes, Nice et Menton, avec embranchements sur le port de Nice et le village de Contes.

M. le ministre des Travaux publics vient de décider, à la date du 19 courant, qu'il y a lieu de poursuivre la déclaration d'utilité publique du réseau projeté, sous la condition que la concession de ce réseau devra être limitée aux sections comprises entre Cannes et la limite Ouest de la principauté de Monaco, et entre la limite Est de

ladite principauté et Menton, sections auxquelles s'ajouteront les deux embranchements sur Contes et le port de Nice, qui, seuls, pourront être ouverts au service des voyageurs et des messageries.

— D'autre part, on annonce que les travaux d'installation du tramway de Nice à Cimiez sont commencés.

M. Sénéchal, administrateur de la Compagnie et propriétaire du Jardin zoologique, ne néglige rien pour que ces travaux soient poussés avec la plus grande activité.

Les chantiers sont ouverts sur plusieurs points à la fois et les ouvriers y sont nombreux partout.

Orléans. — Une proposition de la compagnie de Bolbeck, pour l'établissement d'une usine destiné à fournir la lumière et la force motrice par l'électricité, est à l'étude au Conseil municipal.

Saint-Lô. — Les promoteurs de l'éclairage électrique dans cette ville ont réuni un grand nombre d'adhésions; mais il n'est pas certain qu'ils obtiennent l'appui de la municipalité. La ville est, en effet, liée par un traité avec la Compagnie du Gaz. Elle a concédé à cette Compagnie le monopole exclusif d'une canalisation souterraine. On a songé à tourner ce monopole en employant des lignes aériennes. Mais l'exemple de la ville de Montauban, condamnée à supprimer ses fils électriques aériens et, en outre, en 68 000 francs de dommages-intérêts, n'est pas fait pour encourager les promoteurs.

Toulon. — La Compagnie des tramways du Var étudiait le projet de la construction d'un réseau à traction électrique dans la ville de Toulon. Ce projet a été définitivement adopté. Les travaux commenceront très probablement le 15 janvier.

La nouvelle ligne de Bon-Rencontre à la Valette sera, peut-être, livrée à la circulation dès les premiers jours du mois de mai. Une inauguration solennelle aura lieu le jour de la mise en marche des premiers tramways électriques.

Vaas (Sarthe) — L'Etincelle électrique nous apprend que ce bourg, voisin de la Flèche, vient d'être doté d'une usine municipale située dans un moulin campé lui-même dans une île du Loir. L'installation, faite par les soins de M. Baptiste, électricien au Mans, comporte une roue hydraulique Sagebien de 13 chevaux actionnant une dynamo Thury de 110 volts 100 ampères.

Chaque soir, depuis l'allumage jusqu'à 11 heures, et en hiver depuis 6 heures du matin jusqu'au jour, un ouvrier est chargé de la surveillance et de l'entretien de la dynamo. Surveillance facile puisque les appareils auxiliaires se réduisent à quelques commutateurs et à un voltmètre.

Un emprunt municipal de 20 000 francs couvert par les abonnements de 5 ans passés avec les habitants, a été plus que suffisant pour couvrir toutes les dépenses.

La dette sera complètement amortie par 15 annuités, sans qu'il ait été prélevé quoi que ce soit sur les ressources communales, Vaas sera alors propriétaire, d'une usine qui lui rapportera au minimum 2 000 francs par an et éclairera gratuitement ses rues.

Les abonnements recueillis par les soins du maire fixent à 36 francs par an le prix d'une seule lampe de 16 bougies et à 30 francs chaque lampe supplémentaire.

Les Tramways électriques de Marseille. — Dans la première quinzaine de janvier, des froids exceptionnels ont, comme on le sait, paralysé en France et à l'étranger le mouvement des véhicules de toutes sortes. Un fait à signaler pourtant. A toute heure de jour et de nuit et sur ses fortes rampes de la rue d'Aix et de St-Lazare, le tramway électrique de Marseille a fonctionné avec sa charge normale de voyageurs, au grand étonnement de tous, malgré neige et verglas. C'est là un point acquis aujourd'hui à l'avantage de la traction par l'électricité.

L'électricité en Allemagne. — L'Elektrotechnische Zeitschrifft insiste sur ce fait que, pendant l'année 1894, l'emploi des accumulateurs a fait, en Allemagne, de grands progrès et que, par contre, les stations centrales à courants alternatifs ont été aussi en progrès. Dans presque toute l'Allemagne, les constructeurs ont adopté ces quatre principes : faible période, faible vitesse, grandes unités, couplage direct.

Chauffage électrique d'un théâtre. — La direc-

tion du Vaudeville-Théâtre, après avoir comparé différents systèmes de chauffage, par l'eau chaude, la vapeur, etc., a résolu d'adopter le chauffage électrique. Cette décision est due, nous apprend l'*Electrical Engineer* de Londres, aux nombreux avantages du système. On demanda à MM. Crompton and C°, de fournir aussi rapidement que possible les appareils nécessaires; la commande fut reçue à onze heures du matin le mardi, et le soir, à six heures, le théâtre était chauffé électriquement. Les grands radiateurs employés étaient facilement transportables, et avaient pu, par conséquent, être placés au milieu de l'orchestre tant que la salle était vide; ils avaient été ensuite, placés sur les côtés du théâtre. A la suite de cet essai, la commande définitive fut donnée. Le prix total de l'installation ne dépassera pas ce qui était prévu pour d'autres systèmes, et les avantages seront assez nombreux : absence de danger d'incendie, réglage facile.

Nouveau journal anglais d'électricité. — Nous recevons le premier numéro d'un nouveau journal anglais qui a pour titre *Electrical discovery* et qui est publié, à Londres, par MM. P. Thompson. Il a pour but de publier, deux fois par mois, la liste des brevets pris en Angleterre dans le domaine de l'électricité, avec des résumés illustrés. S'il se borne à ce programme et surtout si les descriptions sont publiées rapidement, il rendra des services et son succès est assuré.

Les tramways électriques de Brooklyn.—Nous avons déjà dit que nous ne croyons pas que la traction mécanique en général et la traction électrique en particulier puisse être avantageusement exploitée dans le centre des grandes villes; la circulation y est trop active et, dès lors, des accidents nombreux sont à craindre, à moins qu'on ne réduise énormément la vitesse, ce qui fait perdre à la traction mécanique ses principaux avantages. Le champ à exploiter est assez vaste en se limitant aux quartiers extérieurs et à la banlieue, et les services rendus seront assez considérables pour qu'on n'aille pas au devant d'échecs probables en voulant s'égarer..... dans le centre de Paris. Ce qui se passe à Brooklyn en est une preuve.

Voici ce que dit à ce sujet le *New-York Herald* :

« Graduellement, la plupart des tramways à chevaux ont été remplacés par des tramways électriques à fil aérien et à retour par les rails. La vitesse de ceux-ci est beaucoup plus grande que celle des anciens tramways, ce qui est très dangereux dans les rues très fréquentées.

Pendant les deux dernières années, 84 personnes, hommes, femmes, enfants ont été écrasées; plusieurs centaines ont été estropiées pour le restant de leurs jours. »

Presque tous les accidents se sont produits dans le centre de la ville, tandis que dans les faubourgs, les tramways électriques rendent de grands services et ne causent pour aiusi dire pas d'accidents. Il est vrai aussi que les voitures prenaient parfois une allure deux ou trois fois plus rapide que celle permise par les règlments. Ajoutons, pour terminer, que les employés de ces lignes, à la suite d'un refus d'augmentation, se sont mis en grève, et que l'exploitation des lignes de tramways va probablement être reprise par la Ville.

Statistique des lignes télégraphiques à la surface du globe. — Le réseau télégraphique qui s'étend à la surface du globe, a un développement évalué à 1,700,000 kilomètres, dont 612,700 en Europe, 867,500 en Amérique, 108,600 en Asie, 34,700 en Afrique et 76,500 en Australie.

Les États-Unis viennent en tête avec 650,000 km., — plus que l'Europe entière. — Viennent en suite la Russie avec 130,000 km, l'Allemagne avec 118.000 km., la France avec 96,000 km., l'Autriche-Hongrie avec 96,000 km., les Indes anglaises avec 63,000 km, le Mexique avec 61,000 km., l'Angleterre et l'Irlande avec 52,000 km, le Canada avec 52,000 km, l'Italie avec 39,000 km., la Turquie avec 33,000 km, la République Argentine avec 30,000 km., l'Espagne avec 26,000 km.; le Chili avec 25,000 km., etc.

Si l'on rapporte la longueur des réseaux à la superficie des pays où ils sont établis, les diverses nations se classent dans l'ordre suivant : Belgique, Allemagne, Hollande, France, Suisse, Turquie, Angleterre, Italie, Danemark, Grèce, Autriche-Hongre, États-Unis, Espagne, Mexique, Russie, Indes anglaises, République Argentine, Canada, etc.

Le Gérant : L. DENNERY.

Imprimerie ALCAN-LÉVY, 24, rue Chauchat, Paris

2e Année — Samedi 26 Janvier 1895 — N° 4

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

REVUE DE L'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

Directeur P. H. Ledeboer, Docteur ès-sciences

LES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES A CANALISATION SOUTERRAINE

EN AMÉRIQUE

La *Metropolitan Railroad Company*, de Washington, transforme actuellement son exploitation de tramways à chevaux en tramways électriques à canalisation souterraine, sous la direction de M. Connett, ingénieur en chef. La même Compagnie avait, il y a quelques années, fait un essai pratique en grand de la traction par accumulateurs; 20 voitures avaient été équipées d'après ce système.

Elle se propose maintenant de construire la ligne de la 9e rue en canalisation souterraine et de commencer l'exploitation avant le mois d'août prochain. L'exploitation des tramways électriques par canalisation souterraine présentant un intérêt considérable pour le centre des grandes villes, nous croyons intéressant de résumer dès maintenant les grandes lignes du projet en exécution.

La conduite est une forme modifiée des caniveaux de tramways funiculaires avec la culasse et les murs en béton, l'intérieur ayant 63 cm. de profondeur et 45 cm. de largeur, avec des tuyaux de drainage placés à intervalles convenables et communiquant avec les égouts. Les rails formant les joues de l'ouverture médiane seront larges afin d'éviter que les gouttes d'eau ne puissent tomber sur les conducteurs. Ceux-ci consistent en barres à T, d'environ 10 cm. de hauteur, et placés sur leur tranche; ils sont éloignés l'un de l'autre d'environ 15 cm. Ils sont supportés par longueurs d'environ 4 m. 10, par des tiges suspendues elles-mêmes à des doubles cloches isolantes en porcelaine dans lesquelles elles sont fixées par du plomb. Ces isolateurs sont montés sur des boîtes en fonte de fer, et une réserve suffisante a été faite pour permettre l'allongement et la contraction des conducteurs sous l'action des différences de température.

Un contact glissant sera employé. Il sera supporté de la voiture, de la façon ordinaire.

Les moteurs seront du modèle de la General Electric Company, ainsi que les générateurs. Ceux-ci seront couplés directement aux machines à vapeur.

Les figures 1, 2 et 3 représentent les dispositions adoptées ; nous les reproduisons d'après *The Street Railway Journal.*

Un trou d'homme (fig. 4) est placé à chaque isolateur, afin de permettre la surveillance et

l'entretien sans qu'on soit obligé de bouleverser la chaussée à tout moment. On peut remarquer que cette méthode de support diffère complètement de celle qui est adoptée à Buda-Pesth, où les isolateurs sont horizontaux, et sont cimentés dans une ouverture rugueuse pratiquée dans la carcasse de la conduite.

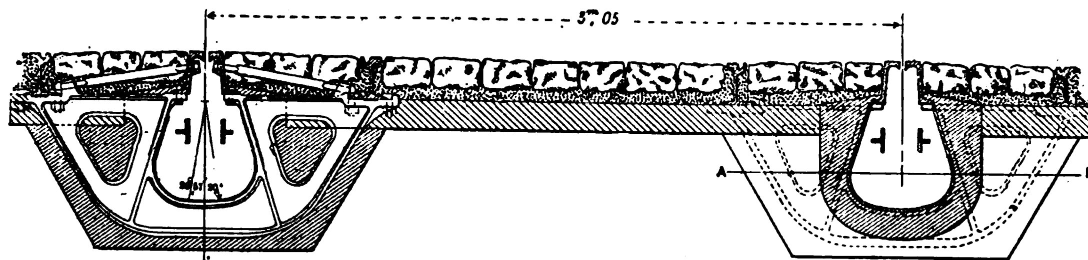


Fig. 1. -- Canalisation souterraine du Metropolitan Railway de Washington, coupe transversale.

L'inventeur pense que la méthode adoptée à Washington évitera que les impuretés puissent s'accumuler sur le sommet de l'isolateur.

Le contact de prise de courant glissera sur les faces verticales des conducteurs; il y sera pressé par des légers ressorts; l'aspect extérieur de ce trolley rappellera le grip des tramways funiculaires.

La tension de distribution sera de 500 volts à la station centrale avec une perte en ligne de 50 volts au maximum. L'idée première

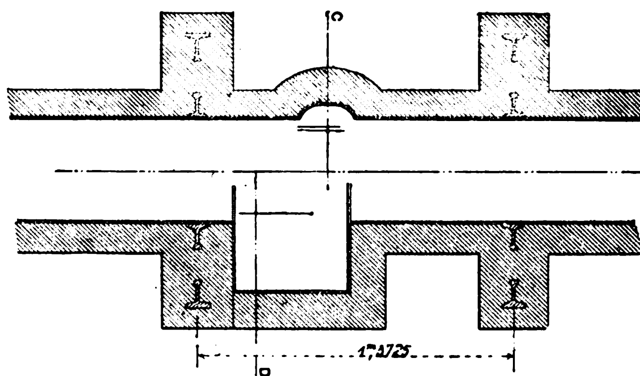


Fig. 2. — Coupe horizontale, suivant A B.

était d'employer un courant à 300 volts, comme à Buda-Pesth; mais l'emplacement de l'usine à l'extrémité de la ligne et le prix élevé des câbles armés qui étaient nécessaires pour compléter le circuit métallique y ont fait renoncer. Comme toutes les lignes sont dans le cœur de la ville et que la vitesse maxima est fixée à 14 ou 15 km. par heure, on espère qu'il n'y aura pas d'accident à déplorer avec ce voltage.

La *Eckington and Soldier's Home Railway Company*, de Washington, exploite une ligne de tramways présentant des particularités intéressantes.

Tandis que la généralité de l'exploitation se fait avec trolley aérien, une expérience a été tentée sur la *North Capitole street* avec un conduit souterrain fermé dont l'*Electro magnetic Company* est le promoteur.

Le voltage de régime est de 500 volts.

Le car est du type ordinaire, sauf qu'au lieu du trolley ordinaire, il porte, suspendues au moyen de ressorts à la partie inférieure du truck, deux longues barres de fer. Ces barres ou patins ont la longueur même du truck et servent pour la prise du courant.

Une batterie d'accumulateurs de 6 éléments et pouvant disposer d'une différence de potentiel de 8 vols est installée sous un des sièges du car; la batterie est reliée aux barres précitées.

Au centre de la voie et à intervalles de 4 m. 50

environ, sont placées des boîtes en fonte hermétiquement closes, sur les couvercles desquelles sont disposées deux prises de contact correspondant à des plaques placées sous le couvercle.

En dessous du couvercle de chaque boîte est monté un interrupteur à électro aimant dont les extrémités de l'enroulement sont reliées aux plaques du couvercle. L'électro aimant actionne une armature portant deux plaques de charbon qui, dans le déplacement de l'armature, viennent former contact avec deux plaques semblables et fixes dans la boîte. Une des plaques fixes est reliée au conducteur principal de la ligne ; l'autre plaque fixe est reliée à l'une des plaques du couvercle.

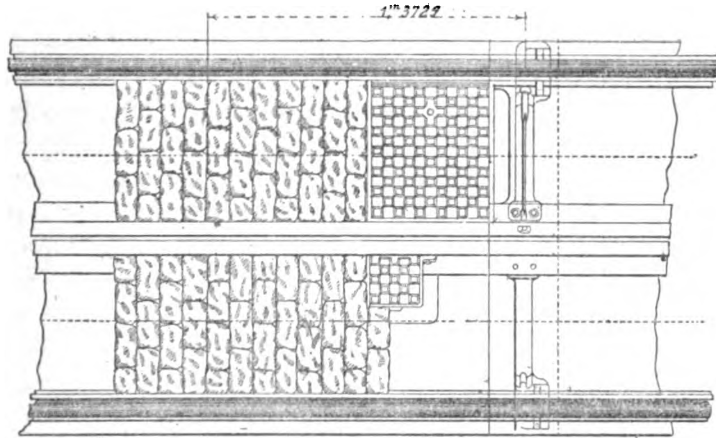


Fig. 3. — Canalisation souterraine du Metropolitan Railway de Washington, plan.

Le conducteur principal est placé dans un tuyau de fer enfoui dans le sol et traverse toutes les boîtes de prise de courant ; le retour a lieu par la voie.

Le fonctionnement est le suivant ; la batterie se décharge par les barres à travers les plaques du couvercle et par l'électro-aimant ; instantanément celui-ci est excité, les plaques de charbon viennent au contact et le circuit est fermé. Le courant passe du câble principal à travers les plaques du couvercle jusqu'aux patins de prise de courant et de là aux moteurs.

Quand la voie est double, l'arrangement est un peu différent et dans les nouvelles installations un retour métallique est introduit en ajoutant un troisième patin à chaque car et en disposant le câble de retour dans la même tranchée que le câble principal. Des jonctions partent du câble de retour et aboutissent à des plaques de contact supplémentaires placés également sur les couvercles des boîtes.

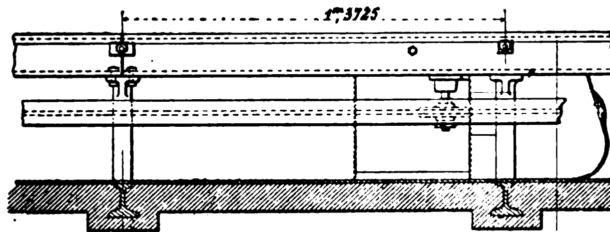


Fig. 4. — Coupe longitudinale montrant la disposition d'un trou d'homme.

Les patins sont de longueurs telles, par rapport à la distance de centre en centre des boîtes, qu'ils atteignent la boîte suivante avant que la précédente ne soit quittée. Il n'y a donc de ce chef aucune crainte d'interruption du circuit.

Si par suite d'un choc le contact des patins et des plaques de contact était impossible, l'impulsion du car suffirait à lui faire gagner la boîte voisine.

Ce système a déjà trois mois de pratique sans avoir donné lieu à aucun incident.

L'avantage qu'il présente est d'offrir une herméticité complète ; le câble est bien abrité; enfin, l'emploi de l'interrupteur électromagnétique met complètement le public à l'abri de tout danger.

Les plaques de contact sont en saillie de 22 mm. sur le sol.

L'objection que l'on peut faire est relative à la saillie des plaques de contact sur la voie publique. Il paraîtrait que l'obstruction qui en résulte pour la circulation des véhicules est nulle ou insignifiante ; cela est possible en Amérique où piétons et cochers s'astreignent à une véritable discipline en restant chacun à leur place soit sur la chaussée, soit sur les trottoirs.

En France, à Paris surtout, où voitures et promeneurs se croisent en tous sens, nous ne croyons pas le système applicable, malheureusement.

Au point de vue de l'isolation, des essais ont été faits au pont de Wheatstone avec des galvanomètres très sensibles, après submersion de plusieurs boites ; la perte a été trouvée inférieure à 5 o/o de la puissance nécessitée par un car.

Le coût de l'installation du système est d'environ 110,000 francs par kilomètre de double voie, y compris le retour métallique, les câbles, feeders et caniveaux.

Le *Rock Creek Railway*, du district de Columbia (Etats-Unis), présente dans son système d'exploitation une particularité remarquable et qui donne une solution très acceptable pour les tramways électriques dans les villes, lorsqu'au trafic de la cité se joint un service interurbain.

La ligne présente un développement total de 13 kilomètres environ à double voie dont 3 kilomètre à l'intérieur de la ville.

La distribution du courant est mixte : par conduit souterrain à l'intérieur de la cité et par trolley aérien pour le trafic suburbain.

Les fils de trolley sont supportés par des poteaux en fer placés entre les deux voies aux abords de la ville ; près des petites localités, les poteaux sont en bois, par raison d'économie.

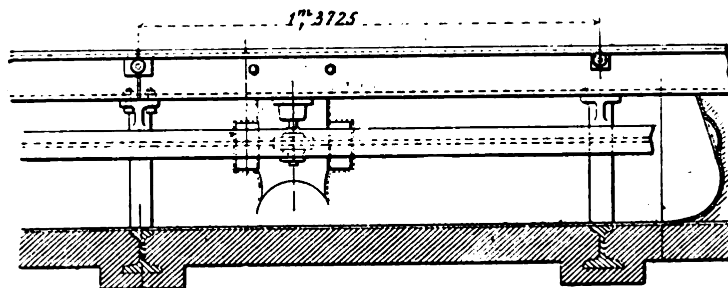


Fig. 5. — Coupe longitudinale montrant la disposition des isolateurs.

Le terminus est présentement à Chevy-Chase (Md), mais une extension de 4 kilomètres de la ligne est en construction pour aboutir à Kingston, sur le Baltimore and Ohio Railroad.

Environ 20 voitures sont régulièrement en service avec départs à 15 minutes d'intervalle.

Chaque car porte un trolley aérien et un mécanisme lui permettant de se relier, dans l'intérieur de la ville, au conduit souterrain.

A la jonction du système aérien et du système souterrain, des puits sont creusés sur chaque voie pour abriter les préposés qui font le couplage.

A l'approche de la jonction, le conducteur du car abat le support de la roue de trolley et le fixe tandis que le surveillant insère le trolley souterrain dans une douille placée à cet effet sous le truck du car.

Le patin de contact consiste en 2 plaques métalliques boulonnées côte à côte de 20 mm. d'épaisseur, 100 mm. de largeur et 300 mm. de longueur supportant élastiquement deux roues du trolley. Les conducteurs, dans le patin, consistent en rubans de cuivre isolés maintenus entre les plaques et se terminant par deux barres de cuivre affleurées avec un chapeau isolant à la partie supérieure du patin. Le patin est suspendu sous le truc et maintenu par le boulonnage ; dans les pièces de cuivre de la partie supérieure pénètrent des contacts à fiche qui le relient au moteur.

Les cars démarrent par leur propre poids et suivent le trolley jusqu'à l'extrémité du conduit. A la 7e rue où se termine le conduit, un préposé découple le car.

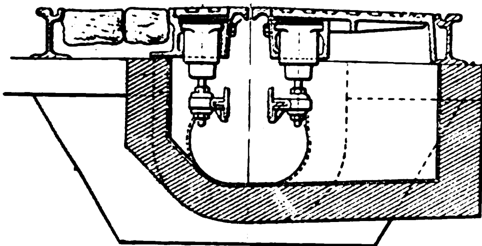


Fig. 6. — Coupe transversale, détails.

Le changement se fait en 20 ou 30 secondes.

Le conducteur consiste en fils de cuivre attachés par des supports isolants et maintenus au moyen de ressorts en spirale.

Le conduit a environ 45 cm. de profondeur et 35 cm. de largeur avec drains de distance en distance.

L'exploitation a déjà près de 18 mois d'existence.

Le prix des places est de 0 fr. 50 hors la ville et de 0 fr. 25 dans la ville.

La puissance est fournie par deux stations, l'une près des limites de la cité, l'autre à l'extrémité de la ligne.

J. Reyval.

LES PROJECTEURS ÉLECTRIQUES

ET LEUR EMPLOI A LA GUERRE [1]

Dans une série d'articles précédemment publiés [2], la *Revue du Cercle militaire* a donné une étude complète des projecteurs électriques, basée sur les théories de M Blondel, professeur à l'Ecole des ponts et chaussées [3]. La supériorité des projecteurs Mangin sur les miroirs paraboliques de toute nature, en particulier sur les célèbres réflecteurs Schuckert y est établie d'une façon irréfutable et irréfutée. Cette supériorité tient, d'une part à la solidité des miroirs Mangin qui compense largement la légère augmentation de poids, d'autre part, à la puissance lumineuse et à la composition du faisceau lumineux. Nous nous sommes peu occupé des modèles de miroirs paraboliques français qui ne prétendent à aucune supériorité sur le matériel similaire alle-

[1] L'auteur de cette série d'articles s'occupe exclusivement des projecteurs sphériques; d'après lui ces projecteurs sont bien supérieurs aux réflecteurs paraboliques. Nos lecteurs ayant pu se faire une opinion motivée sur les mérites respectifs de ces deux genres d'appareils, nous nous bornerons à reproduire ses articles se rapportant uniquement au point de vue militaire. Il va sans dire que nous tiendrons nos lecteurs au courant de tout ce qui se publiera, d'intéressant, sur cette question des projecteurs et sur la lutte qui s'est engagée depuis longtemps entre les partisans des réflecteurs, sphériques et les partisans des réflecteurs paraboliques. Si, au point de vue théorique, ces derniers sont peut-être à préférer, il n'en est plus du tout de même au point de vue pratique; car, outre que les réflecteurs paraboliques sont moins robustes, il est très difficile de les exécuter d'une manière irréprochable; autrement ils perdent tous leurs avantages. Cette lutte rappelle à certains points de vue celle qui existe entre les partisans des courants continus et les partisans des courants alternatifs. N. D. L. R.

[2] Voir les nos 7, 8 et 9 de la *Revue*, des 18 et 25 février et du 4 mars 1894.

[3] *Théorie des projecteurs électriques*, Andre Blondel, professeur à l'Ecole des ponts et chaussées, Lahure, 1894.

mand et que les dernières expériences ont fait éliminer complètement.

En somme, la théorie et la pratique sont d'accord — chose rare -- pour démontrer que le projecteur Mangin répond à tous les besoins. Nous n'allons pas jusqu'à dire qu'il est parfait: la meilleure preuve, c'est qu'il est l'objet d'incessantes améliorations ; il est indéfiniment perfectible; mais, dans l'état actuel de la science et de l'industrie, on ne saurait faire mieux.

Nous sommes donc en possession d'un appareil excellent : il ne reste plus qu'à l'utiliser pour le mieux, et, à ce point de vue, il y a toujours beaucoup à faire.

Les puissances étrangères se sont très sérieusement préoccupées, pour la plupart, des applications à la guerre des projecteurs électriques. Au point de vue de la statistique, on peut évaluer comme il suit le nombre des projecteurs que possèdent les diverses puissances :

France	872	projecteur
Angleterre	920	—
Autriche	127	—
Italie	355	—
Russie	230	—
Danemark	54	—
Espagne	50	—
Belgique	30	—
États-Unis	62	—
Japon	30	—
Chine	10	—
République Argentine	31	—
Turquie	14	—
Suisse	13	—

Enfin l'Allemagne, qui possédait 216 projecteurs, vient, paraît-il, de faire construire 144 appareils de campagne de grande puissance. Actuellement, le nombre d'appareils photo-électriques que possède l'armée de terre en Allemagne atteint 220, tandis qu'en France il n'est que de 75.

En Allemagne, en Espagne, au Danemark et en Suisse, c'est l'artillerie qui est chargée, comme en France, de l'entretien et de la conduite des appareils.

Ce service appartient au génie en Autriche, en Italie, en Angleterre et en Belgique; il vient de lui être également confié en Russie.

L'Allemagne et l'Italie possèdent une organisation complète pour les appareils photo-électriques, comme celles réalisées par d'autres puissances pour les ballons captifs.

En Italie, notamment, le corps du génie compte 7 parcs photo-électriques, 4 lourds et 3 légers, au service desquels est affectée, d'une manière permanente, une compagnie de 120 mécaniciens-électriciens.

Un parc lourd comprend :

Une locomobile de 12 chevaux (4.200 k.) pouvant donner 85 volts 95 ampères.

Une voiture à projecteur de 90 cm. (1.600 k.).

Une voiture à deux roues portant 300 mètres de câble double (690 k.).

Un parc léger comprend :

Une locomobile de 8 chevaux donnant 75 volts 70 ampères ou 55 volts 90 ampères suivant les types, et pesant 3.200 k.

Une voiture pour projecteur de 60 cm. ou de 75 cm., pesant 850 ou 1.500 kilos.

Le matériel adopté en Allemagne est celui de la maison Schuckert et Cie, de Nuremberg. Cette maison est devenue une société par actions et le Gouvernement s'est rendu acquéreur de la presque totalité de ces actions.

L'établissement s'est ainsi transformé en un arsenal électrique de l'armée allemande où ont été admis quelques officiers des puissances étrangères alliées à l'Allemagne, entre autres des officiers italiens, désireux de se perfectionner dans le maniement des appareils photo-électriques.

Les Allemands, du reste, semblent se préoccuper beaucoup de la question de l'éclairage des champs de bataille. Il y a quelque temps, l'*Electrician*, de Londres, a rendu compte d'expériences faites dans ce but en Allemagne.

On a essayé d'utiliser des ballons captifs, portant une lampe suspendue. La source de l'électricité était sur le sol; le courant arrivait par un des trois câbles de retenue de l'aérostat.

La puissance lumineuse étant de 5.000 bougies, on a pu éclairer une surface de 500 mètres de diamètre d'une hauteur de 600 mètres. L'éclairement moyen du sol, dans ce cas, est de 1/60 de bougie-mètre; c'est-à-dire environ le même que celui d'une bougie placée à 8 m. de distance.

L'emploi combiné de plusieurs ballons permettrait ainsi d'illuminer un espace considérable, où l'on pourrait manœuvrer aussi aisément qu'en plein jour.

Dans ce cas seulement, il est possible que la lampe à miroir parabolique présente quelques avantages; en prenant une courte distance focale, on peut obtenir un faisceau très dispersé éclairant, faiblement il est vrai, une plus vaste étendue de terrain. Du reste, n'importe quel miroir sphérique conviendrait également.

Dans presque toutes les autres puissances, les appareils employés sont, pour la plupart, des projecteurs Mangin, adoptés à la suite des expériences dont nous avons parlé, qui en ont montré la supériorité.

Nous n'entrerons pas ici dans une discussion sur l'emploi tactique des projecteurs en rase campagne; la lecture de nombreuses publications faites à l'étranger montre que la question est activement travaillée et généralement bien connue. Parmi ces travaux, il convient de signaler :

La conférence faite en 1888 par M. Braun au cercle des officiers de la landwehr, à Nuremberg.

La conférence faite au Cercle militaire d'Aldersche et reproduite dans le journal : *United Service Gazette*.

Le travail très remarquable du commandant Ricardo Aranaz publié dans le *Memorial de artilleria* (Septembre 1891). Il renferme le compte rendu d'essais faits avec un appareil dit de 5.000 carcels (100 ampères), grâce auquel on a pu voir nettement à 400 mètres des mannequins blancs représentant les servants d'une pièce, un soldat à cheval, un autre à pied, etc.

A 5.000 mètres, on apercevait à la lunette tous les détails d'une maison;

A 6.000 mètres, on voyait le Palais Royal-Cuartel de la Mantera;

A 6.500 mètres, le Cuartel Madelo ;

Enfin, à 9.000 mètres, la tour de l'École d'Aiguière, quoique le faisceau eût à traverser l'atmosphère de Madrid.

Nous citerons également un article du *Militar Wochenblatt* sur les applications de la lumière électrique à la guerre de campagne.

Après quelques considérations d'ordre général sur la puissance des armes à feu actuelles et les avantages de l'offensive ou de la défensive, l'auteur entre dans le cœur du sujet :

Il faut, dit-il, que l'assaillant recherche tous les moyens pour diminuer, dans la mesure du possible, les sacrifices qu'il devra faire au moment de l'assaut. Le règlement d'exercices pour l'infanterie allemande recommande, dans certains cas, étant donnée la difficulté de traverser un espace exposé au feu de l'ennemi, de profiter de l'obscurité pour effectuer ce mouvement. Il est tout naturel, par conséquent, que les écrivains militaires se soient préoccupés de la question des combats et des opérations de nuit.

Le même règlement, en parlant des dispositions à prendre pour parer à l'éventualité d'une attaque de nuit, prévoit le cas où le défenseur se verra forcé de renforcer sa ligne d'avant-postes.

Les inconvénients que ce changement apporte dans les dispositions ordinaires pour le fractionnement des troupes sont évidents.

N'y a-t-il donc pas un autre moyen de diminuer les dangers provenant de l'obscurité ?

L'analogie de cette situation avec celle du défenseur d'un fort placé en face d'un assaillant qui, d'une nuit à l'autre, avance ses tratravaux d'approche, saute aux yeux. Les exemples, tirés des guerres modernes, montrent les défenseurs de Paris et de Belfort utilisant la lumière électrique; elle était employée déjà en 1855 par la flotte française, qui éclairait les remparts de Kinburn pour empêcher

le défenseur de reconstruire de nuit les ouvrages bombardés pendant le jour. On se souvient encore des faisceaux de lumière électrique envoyés de Montmartre pendant le siège de Paris, sur les lignes d'investissement allemandes.

Depuis cette époque l'étude de l'éclairage électrique dans ses applications industrielles a pris un grand développement et les appareils, remarquablement perfectionnés, arrivent à détrôner peu à peu tous les autres systèmes d'éclairage. Déjà l'Exposition universelle de Vienne, en 1873, a permis d'admirer des appareils d'une puissance considérable sortis de l'usine de l'avenue de Suffren.

Toutefois ces appareils étaient tous fixes ou difficilement transportables, tout au moins en ce qui concerne la machine produisant le courant électrique. La guerre de campagne ne pouvait donc pas compter sur l'emploi de ces machines, il fallait avant tout que la science ait pu parvenir à construire des appareils suffisamment mobiles pour qu'ils puissent être transportés, à la suite des troupes, sur des voitures construites d'après les données adoptées pour celles de l'armée.

En Allemagne aussi bien qu'en France, les services techniques n'ont pas tardé à combler cette lacune; on construit actuellement des projecteurs transportables d'une grande mobilité.

Nous allons donner la description de l'appareil locomobile allemand construit par la maison Schuckert, qui était jusqu'à présent en service dans l'armée allemande; les données précises nous manquent sur le nouveau type, plus perfectionné, dont l'Allemagne aurait commandé 144 modèles.

L'appareil de projection mobile se compose de deux parties principales :

1° La machine destinée à produire le courant électrique;

2° Le projecteur proprement dit.

Ces deux appareils se trouvent placés, soit sur une seule voiture, — ce qui n'a lieu que daus le cas de machines très légères — soit sur deux voitures.

La voiture qui porte la machine est presque semblable à la locomobile de place, construite par la maison Sautter-Harlé, dont nous reproduisons le dessin (*Fig. 1*).

A la chaudière, timbrée à 12 atmosphères, est jointe une machine à vapeur à quatre cylindres, d'une force de 14 chevaux, faisant 700 tours à la minute; la machine électrique est à l'avant, enfermée dans une caisse destinée à la protéger.

L'autre voiture comprend un coffre d'avant-train dans lequel se trouvent rangés, pendant la marche, la lampe et le miroir; l'arrière-train contient les câbles destinés à relier la lampe à la dynamo. Entre les deux trains se trouve une plate-forme destinée à l'installation d'un support mobile portant la lampe et le réflecteur.

La lampe est un régulateur à arc électrique, à charbons horizontaux, avec réflecteur parabolique de 0m90, modèle Schuckert, muni de verres divergents pour disperser au besoin la lumière sur une plus vaste étendue de terrain

Avec une pareille machine, on peut éclairer à 1 kilomètre une largeur de terrain de 15 mètres; cette largeur pourrait être portée à 120 m. par l'emploi des verres divergents; à 4 kilomètres, on peut éclairer une bande de 460 m. de largeur. La portée de l'appareil de 0,90 ne dépasse pas 4 kilomètres environ. L'emploi de la lentille divergente diminue l'intensité de la lumière; aussi ne l'emploie-t-on pas d'habitude pour fouiller le terrain ni pour éclairer un point isolé. A 1800 m., par exemple, l'intensité suffit à rendre visible une section d'infanterie formée d'hommes portant des capotes sombres et des pantalons clairs. C'est du moins ce qu'ont démontré les expériences faites par les troupes du génie belge au polygone d'Anvers.

Au cours des expériences faites aux environs de Nuremberg, on constata qu'il était possible, grâce au faisceau lumineux, de lire distinctement au village de Rottembach, situé à 4 kilomètres du projecteur.

Pour permettre à nos lecteurs de se former une opinion exacte sur la possibilité d'utiliser la lumière électrique dans la guerre de campagne, nous allons réunir ici quelques-unes des constatations faites sur les terrains de mamœuvres des différentes puissances:

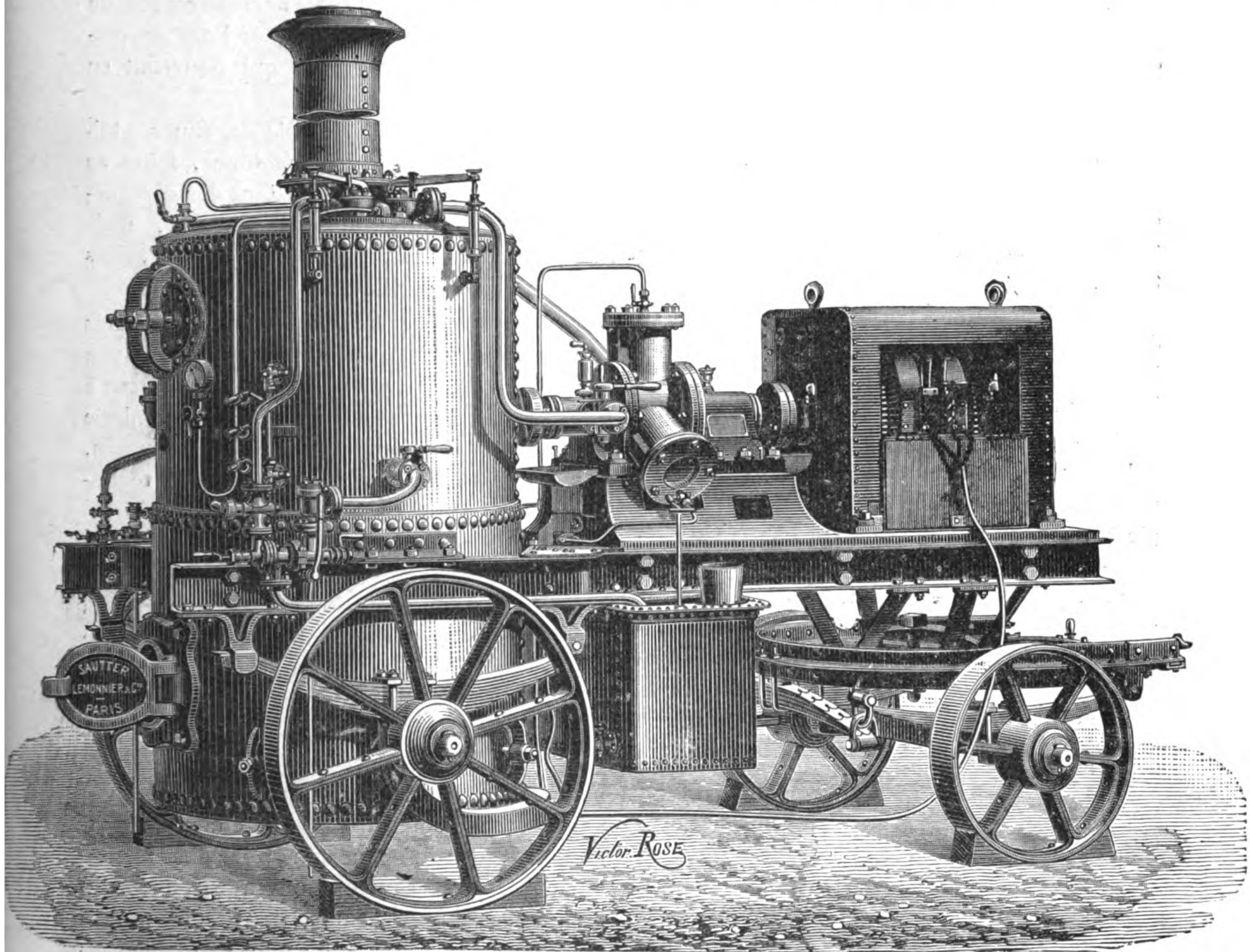


Fig. 1. — Locomobile de place (Armée française, 1878).

1° Le brouillard, même peu épais, la pluie, l'humidité, la fumée des feux de bivouac, diminuent très sensiblement la distance d'éclairage efficace. Le clair de lune, au contraire, complète avantageusement l'emploi de l'électricité.

2° Le contour et la couleur des objets rencontrés par le faisceau lumineux influent sensiblement sur l'intensité de l'éclairage; les maisons, surtout quand elles sont peintes en couleur claire, les routes, les clôtures, etc... sont plus facilement reconnaissables que des terrains cultivés de grande étendue.

3° Il est à remarquer que la meilleure position pour l'observateur n'est pas dans le voisinage immédiat de la machine, mais bien sous le cône lumineux même, ou bien à 3 ou 400 mètres sur le côté.

Si nous groupons tous ces résultats, nous arriverons aux conclusions suivantes, en ce

qui concerne l'emploi de projecteurs mobiles dans la guerre de campagne.

Une troupe installée dans une position défensive et s'attendant à une attaque, dans le cas où elle ne serait pas gênée par un des inconvénients signalés plus haut, brouillard, pluie, etc..., peut, en dirigeant convenablement son faisceau électrique, ne pas perdre de vue les chemins que pourra suivre l'assaillant.

Cette surveillance, ou bien déterminera ce dernier à abandonner son attaque de nuit, ou bien l'obligera à compter sur un feu efficace de son adversaire, car il faut bien admettre que le défenseur connaît exactement la distance qui le sépare des principaux points d'attaque.

En tout cas, des avant-postes, même de peu d'importance numérique, craindront moins les entreprises d'un adversaire audacieux s'ils le savent surveillé par les projecteurs électriques.

Les surprises de l'assaillant sont évidemment moins probables. Considérons par exemple la position de l'armée française à Gravelotte-Saint-Privat. Supposons que les Allemands, dans l'intention d'attaquer, se fussent rassemblés le 17 août près de Rezonville-Saint-Marcel et Doncourt et eussent voulu utiliser la nuit du 17 au 18 pour faire franchir sans pertes à leurs troupes d'attaque les ruisseaux de Mance et de Gorze. Un projecteur installé vers le Point-du-Jour, combinant son action avec un appareil semblable installé à Montigny-la-Grange, aurait pu éclairer distinctement le plateau entre Gravelotte et Verneville.

Si donc l'assaillant compte utiliser un mouvement de nuit pour tenter une attaque brusquée dès la première heure, il se trouvera devancé ; le défenseur aura eu le temps de prendre les mesures nécessaires pour repousser son attaque.

L'emploi des appareils d'éclairage apparaîtra plus utile encore lorsque l'assaillant sera forcé, pour son mouvement d'approche, de suivre des voies d'accès bien définies, qu'il sera possible d'éclairer. Ce sont alors la position même de l'adversaire et la configuration du terrain qui indiquent l'endroit où les projecteurs devront être installés.

C'est ce qui explique la nécessité d'adjoindre un projecteur mobile aux voitures composant les trains d'un corps d'armée (par exemple à l'équipage de ponts) ; cet accroissement du nombre des voitures ne sera pas hors de proportion avec les avantages qui pourront en résulter.

L'attaque elle-même, d'ailleurs, saura utiliser avantageusement ces machines. Elles ne lui serviront sans doute que dans des circonstances d'une importance secondaire, mais dans ce cas elles lui rendront des services signalés.

Nous n'irons pas aussi loin que certains auteurs qui recommandent de joindre une voiture légère à roues portant un projecteur à des reconnaissances un peu fortes de cavalerie leur permettant d'éclairer de nuit le terrain, les villages, etc., et facilitant ainsi leur reconnaissance.

Avec cette manière de voir, on est obligé d'admettre que les partis envoyés en reconnaissance n'utilisent que les routes sans jamais pouvoir s'en écarter, ce qui ne paraît pas être bien favorable au but qu'on se propose. Nous admettrons néanmoins très bien, que, pendant la nuit, une troupe ayant à attaquer une position qu'elle sait occupée par l'ennemi, se serve du projecteur pour fouiller l'horizon et s'assurer si le défenseur ne cherche pas à profiter de l'obscurité pour construire des retranchements rapides ou des ouvrages de fortification passagère. D'autre part, on pourra éclairer, au moyen du réflecteur, les opérations de construction d'un pont, de rampes, de mise en état d'une voie de chemin de fer, etc. Ces sortes de travaux seront d'application courante en campagne ; leur exécution sera ainsi facilitée et rendue plus rapide.

On voit qu'en campagne les occasions où les projecteurs électriques pourront être employés utilement ne manqueront pas.

On peut aussi, à un autre point de vue,

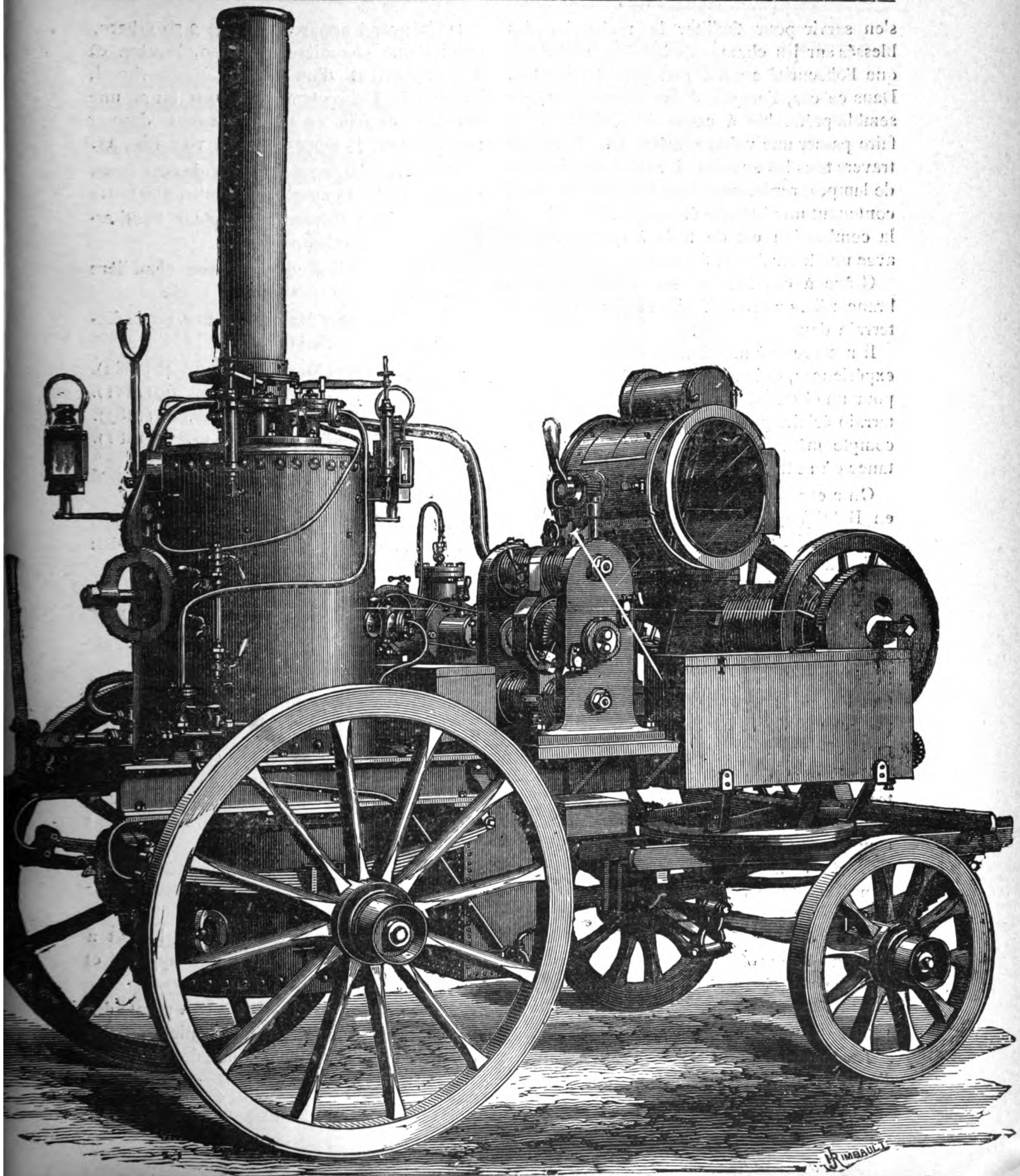


Fig. 2. — Locomobile de fort d'arrêt (Armée française, 1878).

s'en servir pour faciliter la recherche des blessés sur les champs de bataille, recherche que l'obscurité rend à peu près impossible. Dans ce cas, l'emploi d'une lampe portative semble préférable à cause de la difficulté de faire passer une voiture, même très légère, à travers tous les terrains. Il existe des modèles de lampes, renfermées dans une sorte de seau, contenant une batterie électrique. La durée de la combustion est de trois à quatre heures avec une intensité de 6 bougies.

Grâce à ces lampes, les infirmiers et les brancardiers peuvent fouiller utilement tout le terrain dans l'obscurité.

Il nous reste à mentionner encore quelques expériences, qui prouvent qu'il est impossible, pour un observateur placé dans la partie de terrain éclairé par le projecteur, de se rendre compte même approximativement de la distance où se trouve l'appareil.

On a essayé, par exemple, en Angleterre et en Belgique, d'exécuter des tirs d'infanterie et de mitrailleuses sur des projecteurs mis en action à une distance inconnue. Or, l'appréciation de la distance s'est trouvée toutes les fois tellement courte qu'un très petit nombre de balles mortes atteignaient seules le but, sans même parvenir à détériorer la machine et l'empêcher de fonctionner. Les tentatives que fera l'assaillant pour détruire par son tir les projecteurs de la défense seront donc rarement efficaces.

En France, des manœuvres très importantes ont été exécutées en 1893, au Mont-Valérien, sous l'habile direction de M. Bochet, sous-lieutenant de réserve d'artillerie, ingénieur de la maison Sautter-Harlé. Ces manœuvres ont été remarquablement conduites, étant donnée surtout l'insuffisance des moyens dont disposait le lieutenant Bochet ; nous ne saurions mieux faire que reproduire ici, en grande partie, le rapport qu'il a fait au sujet de ces intéressantes expériences et les conclusions qu'il en a tirées.

Le matériel photo-électrique dont dispose l'artillerie du Mont-Valérien comprend :

1° Un grand appareil dit de 2.500 becs, muni d'une chaudière de Dion, Bouton et Trépardoux, et d'un moteur Brotherhood, commandant directement à 900 tours une dynamo excitée en série, pouvant donner normalement 75 ampères à 55 volts (fig. 2).

2° Un appareil secondaire, dit de 600 becs, fonctionnant à 25 ampères, 55 volts, 950 tours avec chaudière Trépardoux, moteur Brotherhood et dynamo Compound.

3° Un appareil secondaire avec chaudière Field.

4° Un projecteur Mangin, de 0 m. 90 de diamètre, de type ancien (1878).

5° Un projecteur Mangin de 0 m. 40 (1882).
6° » » 0 m. 60 (1881).
7° » » 0 m. 60 (1883).
8° » » 0 m. 75 (1881).

Le service est assuré par une équipe comprenant :

Un maréchal des logis, chef d'équipe.
Six canonniers, remplissant les postes de :
Chauffeur.
Mécanicien-électricien.
Conducteur à arc.
Téléphoniste du poste d'observation.
Téléphoniste du poste du projecteur.
Deux canonniers suivent les manœuvres en qualité d'auxiliaires pour se mettre au courant et remplacer les titulaires le cas échéant.

Au début et au cours des manœuvres, un certain nombre de séances ont été consacrées à la vérification et au réglage des appareils et à l'instruction du personnel. Ces séances ont eu lieu de jour.

Les autres séances ont été employées à des manœuvres dans le fort et à des manœuvres à l'extérieur.

La première séance de nuit dans le fort a été effectuée au moyen du grand appareil et du projecteur de 0 m. 75 à court foyer.

Le projecteur était installé à la « pointe des blagueurs ». Le poste d'observation était le cavalier n° 2, distant de la pointe des blagueurs de 250 mètres.

Les deux postes étaient reliés par le téléphone.

La transmission des ordres se faisait très aisément et leur exécution était suffisamment rapide.

L'objectif de la manœuvre était la surveillance des routes de Versailles (distance 2.500 mètres), de Saint-Cloud (distance 2.000 mètres), et de Rueil (distance 1.500 mètres), ainsi que de la route stratégique (distance 800 mètres).

Les parties de ces routes pouvant être éclairées utilement, ayant été soigneusement repérées pendant la journée, il a été très aisé de diriger le faisceau lumineux alternativement à de courts intervalles et avec une grande précision sur les points à garder.

On obtenait ainsi un résultat qui, au point de vue de la surveillance, était absolument comparable à celui d'un éclairage simultané et continu de tous les points à observer ; une colonne de troupes ou un train de voitures n'auraient pu passer sans être vus. Le temps était de transparence moyenne.

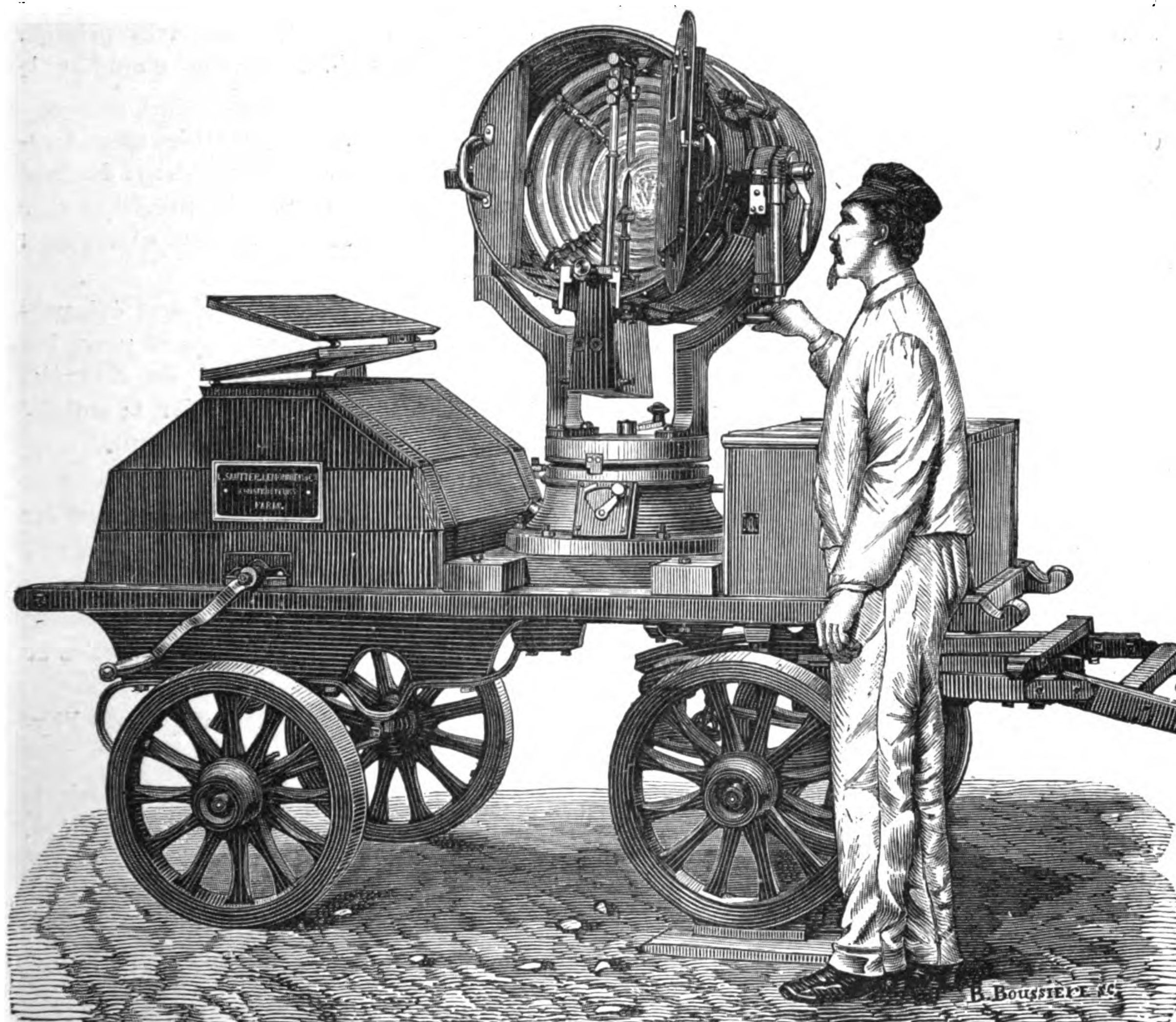


Fig. 3. — Projecteur lenticulaire, type de l'artillerie (1878).

Une opération identique a été exécutée le lendemain 21 septembre pour l'instruction des réservistes. La colonne envoyée sur les routes surveillées qu'elle pouvait suivre arbitraire-

ment et à un moment quelconque a été trouvée de suite. Elle se trouvait alors à une distance de 2.500 mètres et elle était assez vivement éclairée pour qu'il fût possible de distinguer le rouge des uniformes.

Une séance analogue a eu lieu avec un projecteur de 0 m 60.

Un projecteur de 0 m. 60 commandé électriquement à distance, du type de la marine, a été également expérimenté au Mont-Valérien.

Ce projecteur, qui avait été prêté par la maison Sautter, Harlé et Cie, était actionné par une locomobile du type de 2.400 becs. Cette machine, étant munie d'une dynamo excitée en série fonctionnant à 55 volts, ne convenait nullement pour alimenter le mécanisme de commande à distance qui est établi pour fonctionner sous une tension de 80 volts, maintenue bien constante avec les dynamos Compound en usage à bord des navires de guerre. L'emploi d'une dynamo en série ne convenait pas non plus pour la lampe automatique. Malgré ces conditions absolument défavorables, les résultats obtenus ont été remarquables et méritent la plus grande attention. Ils ont montré en effet que la commande à distance augmentait considérablement l'efficacité du projecteur, en rendant l'observation d'une extrême facilité.

La lampe du projecteur était reliée comme de coutume aux bornes de la dynamo. Un câble partant des balais de la dynamo, où la tension atteignait 75 volts, portait le courant au poste de commande, qui était relié, à son tour, par un câble à 6 conducteurs, au mécanisme de commande placé dans le socle du projecteur.

Une pluie très violente gênait les opérations, limitait la portée du projecteur et provoquait des contacts dans les câbles dont l'isolation était fortement dégradée. Néanmoins, les appareils ont fonctionné avec une régularité parfaite et les officiers présents, qui avaient pour la première fois entre les mains un appareil de commande à distance, réussissaient sans peine à suivre des trains marchant à toute vitesse avec le faisceau lumineux. La distance des trains était d'environ 2.500 mètres.

Malgré l'état de l'atmosphère, il a été facile de distinguer le clocher de Saint-Cloud, distant de plus de 3.500 mètres. Ces résultats sont très bons, étant donnée la proximité du projecteur et des observateurs. Le poste de commande avait été, en effet, placé très près du projecteur afin qu'il fût facile d'étudier le fonctionnement de l'ensemble.

Les assistants ont été particulièrement frappés par la rapidité des déplacements du faisceau en tout sens, et par la précision avec laquelle il pouvait être arrêté instantanément sur le but.

Les manœuvres à l'extérieur ont été préparées par une sortie de jour ayant pour but de bien exercer les conducteurs, de contrôler l'état de la carosserie et de vérifier la solidité des arrimages avant de marcher la nuit.

Cette première sortie a été effectuée avec l'appareil secondaire muni d'une chaudière Trépardoux. Cet appareil a été seul employé à l'extérieur.

Le matériel s'étant bien comporté, même dans de très mauvais chemins, des sorties de nuit ont pu être entreprises.

La première opération était réglée sur l'hypothèse suivante :

L'assaillant venant de l'Ouest sur la position du Mont-Valérien est maître de la Jonchère, Buzenval et Garches. Son service de sûreté établi, entre autres points, dans la plaine de Fouilleuse, signale, pendant la nuit, des mouvements de troupes de Suresnes vers Saint-Cloud.

Ces mouvements semblant avoir pour objectif une attaque sur le flanc des positions de l'assaillant, ce dernier cherche à les entraver. Pour cela, il faut éclairer vivement les passages permettant de tourner ses positions ; principalement la route de Versailles. Des tirailleurs se portent en même temps en avant de la ligne de sûreté. Ces tirailleurs, placés à l'abri du faisceau lumineux qui éclairera vivement

l'adversaire, pourront agir utilement et protégeront l'appareil photo-électrique.

L'ennemi était figuré par une petite troupe devant se diriger de Suresnes vers Saint-Cloud aussitôt le projecteur en activité.

L'appareil secondaire de 600 becs portait, pour cette manœuvre, un projecteur de 6c cm.

restait encore un kilo de pression, de sorte qu'en 20 minutes environ on obtenait la pression normale, malgré l'absence de souffleur pour activer le feu et la gêne produite dans le tirage par les doubles grilles de sécurité de la cheminée.

Mais la descente du projecteur de la voiture,

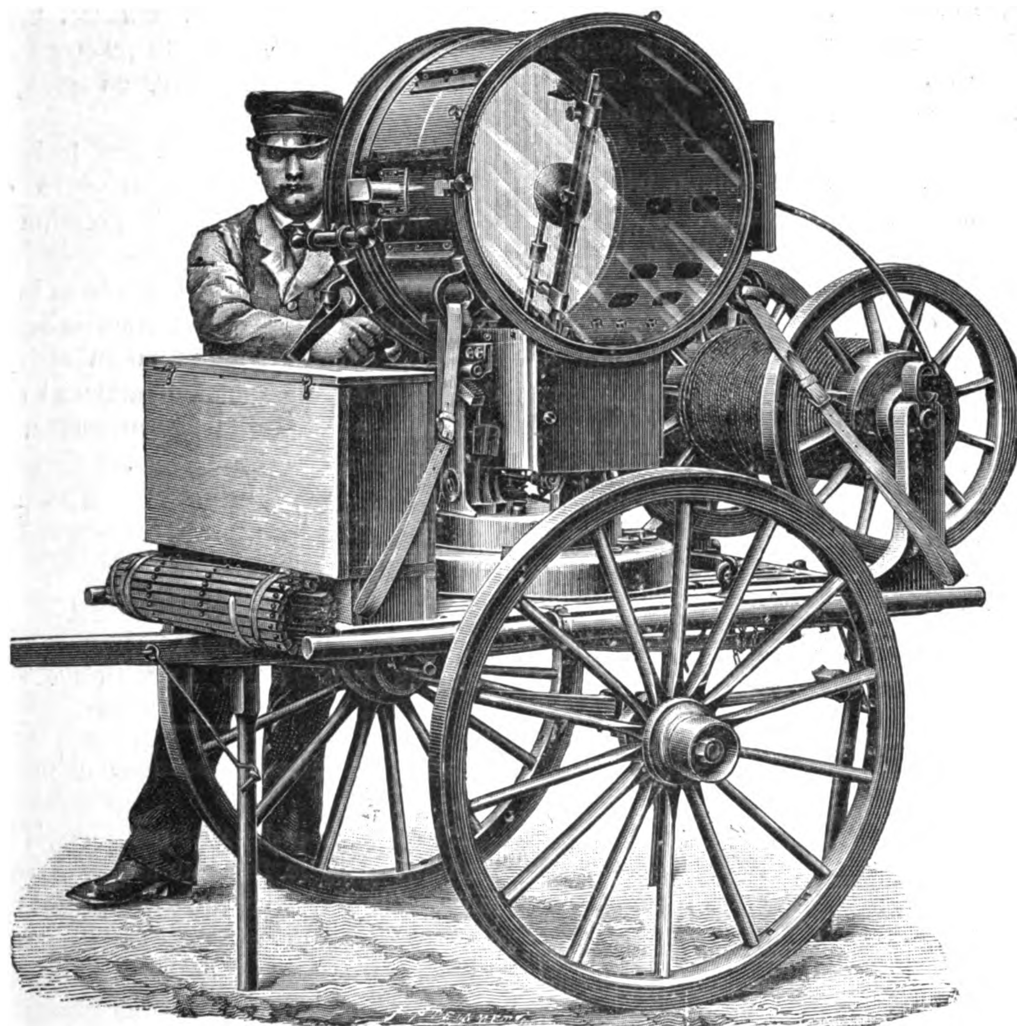


Fig. 4. — Projecteur Mangin de 0m90 sur chariot (1880)

Le projecteur était sur la voiture et tous les accessoires étaient arrimés réglementairement

Afin de se rapprocher de la réalité, où l'appareil serait amené en fɩu et en pression sur sa position, la chaudière avait été mise en pression au fort, puis le feu avait été jeté bas pour éviter les dangers de la chute d'escarbilles sur la route. En arrivant à la position, il

son transport sur la position, son installation sur le socle et l'établissement des jonctions ont exigé un temps considérable, une heure environ. Les mêmes lenteurs et les mêmes difficultés se sont reproduites pour remettre les appareils en ordre de route.

Il est vrai de dire que l'équipe, renouvelée en partie, par suite du départ de la classe, était

peu exercée. Mais, si un personnel eût pu économiser un peu de temps, il reste néanmoins certain que la mise en activité du projecteur aurait, en tous cas, exigé trop de temps pour répondre aux besoins de l'opération projetée.

Au point de vue de l'éclairement, les résultats ont été excellents. Il a été facile de retrouver rapidement la petite troupe ennemie et de la suivre à une distance de 1,000 mètres. Or, il importe de signaler que les hommes étaient presque complètement cachés derrière une haie par suite de la position très défavorable qu'occupait le projecteur.

Il se trouvait en effet dans la plaine, au niveau des routes à éclairer. Cet emplacement avait été choisi en raison des facilités spéciales qui s'offraient pour obtenir l'autorisation de manœuvrer dans la plaine de Fouilleuse. De plus les difficultés d'accès, provenant du mauvais état des chemins, augmentaient l'intérêt des manœuvres au point de vue, particulièrement important, du transport du matériel pendant la nuit.

Les causes des lenteurs et des inconvénients observés étant nettement constatées, il y fut porté remède autant que le permettait le matériel employé.

Une opération, identique à la précédente, fut entreprise dans la suite, mais le projecteur, au lieu d'être transporté sur la locomobile, puis installé à son poste sur un socle pliant était fixé à demeure sur un chariot spécial à deux roues (fig. 4), sur lequel il pouvait fonctionner et être commodément manœuvré. La bobine portant le câble conducteur était établie sur la locomobile également à demeure afin qu'il n'y eût qu'à tirer le câble pour réunir le projecteur à la dynamo. Enfin, les jonctions avaient été soigneusement préparées.

Le transport sur place s'effectué avec la même facilité que précédemment. La distance entre le plateau du fort et la position où la machine a été mise en activité, environ 3,500 mètres, a été franchie en 30 minutes.

En arrivant sur le terrain, les opérations préparatoires ont été de la plus grande facilité.

Tandis que la locomobile était mise en place et dételée, le chariot fut jonctionné en un instant. Les deux téléphonistes de l'équipe installaient en même temps leurs postes près du projecteur et près de l'observateur.

Les attributions de chaque canonnier de l'équipe étant nettement définies, toutes les opérations préparatoires ont pu être exécutées simultanément et achevées en quelques minutes.

La chaudière étant presque froide et le tirage mauvais, il fallut attendre environ 30 minutes avant d'avoir la pression convenable. Mais aussitôt la pression normale atteinte, la lumière a été obtenue et la troupe, simulant l'ennemi, trouvée et suivie sans peine. Le projecteur a été maintenu en activité pendant une heure. La mise du matériel en ordre de route, à la fin de la manœuvre, n'a demandé que quelques instants.

(*A suivre.*) F. P.

SUR LE RETARD DE LA POLARISATION DANS LES DIÉLECTRIQUES

Ewing et Miss Klaassen ont démontré [1] que :

1° Le travail w dépensé par l'hystérésis magnétique dans le fer peut se représenter, en fonction de l'induction magnétique b, au moyen d'une relation de la forme :

$$w = k\, b^{\varepsilon}$$

dans laquelle ε et k ont des valeurs qui varient avec les différentes limites de b.

2° Les variations de l'exponentielle ε correspondent aux passages d'un état successif à l'autre dans le cours de l'aimantation ; les valeurs relativement élevées de ε correspondent aux états initial et final, où la perméabilité magnétique est faible, tandis que, pour les

[1] *La Lumière électrique*, 1894.

valeurs intermédiaires, où la perméabilité magnétique est plus grande, les valeurs de ε deviennent notablement plus petites [1].

D'autre part, dans une série d'expériences qui ont été analysées dans ce recueil [2], j'ai été conduit à établir que :

1° Dans un cylindre diélectrique placé dans un champ électrique tournant, il se produit une dissipation d'énergie, puisque ce cylindre est soumis à un couple qui tend à le faire tourner dans la même direction que le champ lui-même.

2° La relation qui existe entre l'énergie W dissipée dans le cylindre diélectrique et l'induction électrostatique B en un point quelconque du champ tournant, est de la forme

$$W = K B^x$$

où x et K ont des valeurs qui varient avec les différentes limites de B.

3° Pour le papier paraffiné, l'exposant de B, dans la relation entre W et B, est respectivement égal à 1,83, 1,65, 1,90, suivant que les valeurs de B, avec lesquelles on expérimente, sont comprises entre 0,06 et 0,17, 0,95 et 2,65, 9,90 et 14,58 unités électrostatiques C. G. S.

Ces résultats, comparés à ceux des expériences de Ewing et Miss Klaassen sur les propriétés magnétiques du fer, mettent en lumière l'analogie qui semble exister entre la loi de l'hystérésis magnétique et la loi du phénomène que nous avons étudié. Ils font prévoir que :

1° Le phénomène de la rotation d'un cylindre diélectrique dans un champ électrique tournant est dû à un retard que met la polarisation de ce diélectrique à suivre la rotation du champ électrique, précisément comme, dans un champ magnétique tournant, un cylindre de fer, sectionné pour qu'il ne puisse s'y produire de courants de Foucault, se met en mouvement par suite du retard que l'aimantation du fer met à suivre la rotation du champ magnétique.

2° Les valeurs de l'exposant x, dans la rotation entre W et B, doivent correspondre aux diverses phases de la polarisation ; pareillement à ce qui se produit dans l'aimantation des corps magnétiques, les valeurs de x relativement élevées doivent correspondre aux états initial et final et les valeurs relativement faibles, aux états intermédiaires.

Les recherches expérimentales suivantes confirment ces prévisions théoriques.

Les appareils employés et le cylindre diélectrique qui a servi à ces expériences sont les mêmes que ceux déjà décrits dans les articles cités plus haut. La fréquence du courant alternatif était égale à 40. La distance entre les lames, qui enfermaient l'espace où se produisait le champ électrique tournant était de 44 mm., et la distance du miroir à l'échelle de 2660 mm. Le cylindre diélectrique expérimenté était en papier paraffiné ; il avait une hauteur de 26 mm., un diamètre extérieur de 30 mm., une épaisseur de 1 mm , et un poids de 2,011 gr.

J'ai fait, dans ces conditions, soixante-dix expériences avec autant de valeurs différentes l'induction électrostatique B, comprises entre de 0,030 et 5,30 unités électrostatiques C. G. S. [1]. Elles ont été réunies par groupes de dix en sept séries se rapportant chacune à une sensibilité déterminée de l'appareil. De plus, pour obtenir, pour chaque série, le même rapport dans les mesures, j'ai disposé les expériences au moyen des transformateurs, de telle sorte que les valeurs de l'induction en unités C. G. S. pouvaient se déduire, dans chaque cas, de la mesure d'une différence de potentiel toujours comprise entre les mêmes limites (40 et 112 volts). Cette mesure était effectuée avec un voltmètre de Cardew.

[1] Pour l'échantillon de fer expérimenté, et pour des valeurs de b comprises entre 200 et 500, 500 et 1 000, 1 000 et 2 000, 2 000 et 8 000, 8 000 et 14 000 unités électromagnétiques C. G. S , les valeurs respectives de ε étaient égales à 1,9 ; 1,68 ; 1,55 ; 1,475 ; 1,70.

[2] *La Lumière électrique*, années 1893 et 1894.

[1] Pour obtenir des valeurs de l'induction très différentes entre elles, j'ai recouru, dans ces expériences, à l'emploi de transformateurs dont les taux de transformation étaient respectivement de 1 à 2, 1 à 4, 1 à 18, 1 à 250.

La première colonne du tableau I contient les résultats de nos expériences ; les seconde, troisième et quatrième colonnes contiennent les valeurs correspondantes de la différence alternative efficace de potentiel V, indiquée par le voltmètre, l'induction électrostatique B et la lecture *d*, faite à la lunette. Cette dernière valeur, qui est proportionnelle, au tra-

		N°	V en volts	B en unités électrostatiques C. G. S.	*d* en mm. observé	*d* en mm. calculé	Δ	= %
	P = 5,575 gr.	1	40	0,030	11,7	11,30	+ 0,40	+ 3,4
	l = 31,5 cm.	2	48	0,036	16,1	15,79	+ 0,31	+ 1,9
	a = 0,075 cm.	3	56	0,042	20,3	20,99	— 0,69	— 3,4
	b = 0,075 cm.	4	64	0,048	26,1	26,84	— 0,74	— 2,8
	t = 22° C.	5	72	0,054	32,6	33,33	— 0,73	— 2,2
I	—	6	80	0,060	40	40,52	— 0,52	— 1,3
		7	88	0,066	48,5	48,22	+ 0,28	+ 0,6
	x = 1,843	8	96	0,072	57,2	56,65	+ 0,55	+ 1,0
		9	104	0,078	66	65,72	+ 0,28	+ 0,4
	K = 327,593	10	112	0,084	77	75,29	+ 1,71	+ 2,2
	P = 11,438 gr.	11	40	0,060	18	17,31	+ 0,69	+ 3,8
	l = 30,4 cm.	12	48	0,072	23,4	24,15	— 0,75	— 3,2
	a = 0,075 cm.	13	56	0,084	30,8	32,03	— 1,23	— 4,0
	b = 0,075 cm.	14	64	0,096	39,8	40,90	— 1,10	— 2,8
	t = 20° C.	15	72	0,108	50	50,70	— 0,70	— 1,4
II	—	16	80	0,120	61,2	61,55	— 0,35	— 0,6
		17	88	0,132	73,2	73,46	— 0,26	— 0,4
	x = 1,830	18	96	0,144	85,6	85,86	— 0,26	— 0,3
		19	104	0,156	100,4	99,50	+ 0,90	+ 0,9
	K = 287,240	20	112	0,168	113,2	113,87	— 0,67	— 0,6
	P = 11,438 gr.	21	40	0,120	18,4	17,38	+ 1,02	+ 5,5
	l = 30 cm.	22	48	0,144	25,2	24,58	+ 0,62	+ 2,5
	a = 0,15 cm.	23	56	0,168	31,6	32,97	— 1,37	— 4,3
	b = 0,15 cm.	24	64	0,192	39,6	42,52	— 2,92	— 7,1
	t = 23° C.	25	72	0,216	50,4	53,18	— 2,68	— 5,5
III	—	26	80	0,240	62,4	65,08	— 2,68	— 4,3
		27	88	0,264	73,8	78,24	— 4,44	— 6,0
	x = 1,995	28	96	0,288	86,8	92,03	— 5,23	— 6,0
		29	104	0,312	101	107,30	— 6,30	— 6,2
	K = 385,782	30	112	0,336	115	123,47	— 8,47	— 7,4
	P = 11,438 gr.	31	40	0,270	24	23,02	+ 0,98	+ 4,1
	l = 30 cm.	32	48	0,324	32	31,61	+ 0,39	+ 1,2
	a = 0,30 cm.	33	56	0,378	40	41,36	— 1,36	— 3,4
	b = 0,30 cm.	34	64	0,432	50	52,20	— 2,20	— 4,4
	t = 26° C.	35	72	0,486	63	64,06	— 1,06	— 1,7
IV	—	36	80	0,540	76	77,05	— 1,05	— 1,4
		37	88	0,594	91	90,83	+ 0,17	+ 0,2
	x = 1,743	38	96	0,648	106	105,80	+ 0,20	+ 0,2
		39	104	0,702	123	121,76	+ 1,24	+ 1,0
	K = 352,513	40	112	0,756	142	138,44	+ 3,56	+ 2,5
	P = 11,438 gr.	41	40	0,54	30	28,87	+ 1,13	+ 3,8
	l = 30 cm.	42	48	0,65	40	39,67	+ 0,33	+ 0,8
	a = 0,55 cm.	43	56	0,76	51	51,95	— 0,95	— 1,9
	b = 0,55 cm.	44	64	0,87	63	65,60	— 2,60	— 4,1
	t = 26° C.	45	72	0,98	79	80,53	— 1,53	— 1,9
V	—	46	80	1,09	97	96,90	+ 0,10	+ 0,1
		47	88	1,20	115	114,28	+ 0,72	+ 0,6
	x = 1,717	48	96	1,31	134	133,15	+ 0,85	+ 0,6
		49	104	1,42	155	153,29	+ 1,71	+ 1,1
	K = 445,095	50	112	1,53	177	174,34	+ 2,66	+ 1,5

N°			V en volts	B en unités électrostatiques C. G. S.	d en mm		Δ	= 0/0
					observé	calculé		
VI	P = 35,528 gr.	51	40	0,94	29	27,98	+ 1,02	+ 3,5
	l = 30 cm.	52	48	1,13	38	37,86	+ 0,14	+ 0,4
	a = 0,55 cm.	53	56	1,32	48	48,94	— 0,94	— 2,0
	b = 0,55 cm.	54	64	1,51	59	61,11	— 2,11	— 3,6
	t = 27° C.	55	72	1,70	73	74,28	— 1,28	— 1,8
	—	56	80	1,89	89	88,99	+ 0,01	+ 0,5
		57	88	2,08	105	103,65	+ 1,35	+ 1,3
	x = 1,663	58	96	2,27	121	119,89	+ 1,11	+ 0,9
		59	104	2,46	138	137,08	+ 0,92	+ 0,7
	K = 509,251	60	110	2,65	156	154,95	+ 1,05	+ 0,7
VII	P = 81,935 gr.	61	40	1,88	30	30,03	— 0,03	— 0,1
	l = 32 cm.	62	48	2,26	41,5	40,77	+ 0,73	+ 1,8
	a = 0,85 cm.	63	56	2,64	53	52,84	+ 0,16	+ 0,3
	b = 0,50 cm	64	64	3,02	64,5	66,13	— 1,63	— 2,5
	t = 27° C.	65	72	3,40	80	80,57	— 0,57	— 0,7
	—	66	80	3,78	96	96,27	— 0,27	— 0,3
		67	88	4,16	112	112,82	— 0,82	— 0,7
	x = 1,681	68	96	4,54	130	130,69	— 0,69	— 0,5
		69	104	4,92	149	149,65	— 0,65	— 0,4
	K = 518,240	70	112	5,30	172	169,40	+ 2,60	+ 1,5

vail W en ergs, effectué par la force électrique déviatrice dans l'unité de temps se rapporte, suivant les limites de B dans l'expérience, à sept sensibilité différentes de l'appareil ; on faisait varier cette sensibilité en modifiant soit le poids P soutenu par la suspension bifilaire, soit la longueur de cette dernière, soit, enfin, l'écartement supérieur a et l'écartement inférieur b, des deux fils constituant cette suspension (¹).

Si nous rapportons les mesures précédentes à deux axes coordonnés rectangulaires, et si nous portons en abscisses les valeurs de log B et en ordonnées les valeurs de log W calculées d'après les chiffres contenus dans le tableau, la ligne ainsi formée, pour chaque série d'expériences, est une droite ; les écarts très peu sensibles peuvent s'expliquer par les erreurs inévitables d'expérience. Ce résultat démontre que les valeurs de W satisfont à une relation de la forme

$$W = K B^{x}$$

où, pour chaque série d'expérience, x et K sont des constantes qui ont été calculées et inscrites dans le tableau précédent. A ces constantes correspondent des valeurs de W telles que pour chacune, d prend les valeurs inscrites dans la cinquième colonne. La différence Δ et son importance relative en tantièmes sont indiquées dans les deux dernières colonnes du tableau.

RICCARDO ARNO.

(¹) Dans la table, nous avons indiqué, pour chaque série d'expérience correspondant à une sensibilité différente de l'appareil, la température t à laquelle les expériences ont été faites.

L'ACTIVITÉ SOLAIRE

ET LES AURORES BORÉALES

La période récente d'activité maxima du soleil a été marquée par nombre d'aurores boréales et australes splendides dans les deux hémisphères de notre globe. Tout récemment, MM. Flammarion et P. Denza (¹) ont publié le résumé des observations faites en Europe, en Amérique et en Australie. La comparaison des dates des aurores observées avec les dates de la période solaire de 12,6 jours, dont 29 égalent à la durée d'une révolution de notre planète autour du soleil, et avec les dates du passage des essaims périodiques d'étoiles filantes et des bolides (prises de l'Observatoire

(¹) *Publicazioni della Specola Vaticana*, vol. IV.

TABLEAU I

AURORES BORÉALES ET AUSTRALES OBSERVÉES EN 1893-1894 (1)

Année 1893		Jours périodiques	Année 1894	
Janvier	1 5, 6, **7**, 8, 9*, 10. 12, 13, 14. 17, 18*, 19*, 20, **21***, 22. 24. 28. 31.	1, 1-3 (max. 2) 2-5. 13. 15, 16, 17, 21. 28 31.	Janvier	
Février	4*, 5*. **8.** 15**, 16.	2, 3, 6. 7, 7, 10. 13-20. 19, 20. 23-25.	Février	21-23. 25-28.
Mars	6, 7*, 8. 13, **14****, **15***, 16-17. 20. 23, 24, 25, 26, 27, 28. 30, 31.	5, 1-4, 5-10, 7 max. 15, 18, 18. 20. 13-24, 23. 31.	Mars	. 21-23. 25, 28.
Avril	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. 11*, 12, 13,, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20. 22, 23, 24, 25, 26. 28.	2, 6, 10 11-12, 12, 19-20. 17-25, 25. 25-30.	Avril	14. **28, 29.**
Mai	7. 9.	2-6, 13.	Mai	
Juin	2, 3, 4, 5, 6, 7*, 8, 9*, 10, 11, 12. 14, 15, 16, 17, 18*, 19. 23. 26-27. 29.	2, 4, 6-7, 9, 11-13. 12-21, 14. 26, 28. 25-30.	Juin	1.
Juillet	15*, 16.	8, 11, 12. 16, 18. 21, 29-31.	Juillet	9. 15. 20.
Août	5, 6-7**. 12-13. 15 16. 18.	3, 3-5, 6-12. 8-12 (max. 11, 12). 16. 16. 25. 28, 25.	Août	20. 26.
Septembre	1, 2. 5, 6, 7*, 8**, 9, 10, 11, 12. **13, 14**, 15, 16, 17, 18, 19. 22. 26, 27, 28, 29.	1-2. 10, 9, 13-15 (max. 10). 15, 16. 23, 24. 25.	Septembre	6, 7, 8, 9, 10. 13, 14. 25.
Octobre	1, 2. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. 20, 21, 22, 24, 25, 26. 28, 29, 30, 31.	1, 5, 10. 16-21. 18. 14, 18, 24. 29, 31.	Octobre	30.
Novembre	**1*, 2*, 3*.** 6.	1-2, 4, 5. 6-9 (max. 6). 12, 11-15 (max. 14) 25, 19, 21-30 (max. 27).	Novembre	13. 23, 26*.
Décembre	5. 27. 29.	2, 6-9 (max. 6, 7). 27. 30-31, 32.	Décembre	

(1) Les astérisques indiquent les aurores remarquables; les dates en caractères gras marquent les aurores observées sur plusieurs continents.

en 1888), me semblent conduire à des conclusions des plus intéressantes pour la météorologie et la physique du globe.

Un coup d'œil sur la table suivante suffit pour montrer la coïncidence frappante des dates des aurores boréales avec ces jours périodiques de l'année terrestre :

La table montre la simultanéité entre les actions périodiques annuelles de l'électricité solaire et de celle des essaims périodiques, qui produisent les décharges électriques dans les courbes supérieures de l'atmosphère terrestre.

On voit aisément que :

1° Les jours d'aurores boréales sont très fréquents pendant le maximum d'activité solaire 1893 et décroissent rapidement en nombre l'année suivante 1894.

2° Les jours des aurores boréales et australes en 1893 font série à peu près identique avec les jours de la période solaire et des passages des essaims d'étoiles filantes et de bolides qui précèdent et suivent immédiatement les jours périodiques solaires.

3° Que les aurores boréales et australes en 1893 et en 1894 se sont produites souvent aux mêmes jours de l'année ; la table suivante met ce fait en évidence :

TABLEAU II

Mois	1893	1894	Jours périodiques
Mars	20, 2[illegible]. 25, [illegible]8.	21-23. 25, 28.	20. 19, 24. 31, 28.
Avril	11*-14 28.	14. 28, 29.	12, 11-12. 25-30.
Juillet	15**.	15.	16, 18, 20.
Août	13.	20.	16, 16, 25.
Septembre	6, 7*, 8**, 9, 10. 26.	6, 7, 8, 9, 10. 25.	10, 9, 10-13 (max. 10). 23, 24, 25.
Octobre	28, 29, 30, 31.	30.	29, 30.

Cette coïncidence, même aux jours correspondants de différentes années, ne peut être considérée comme fortuite, car les jours coïncident et font dans différentes années une série qui, elle aussi, est identique avec celle des jours des perturbations solaires et du passage des essaims d'étoiles filantes et de bolides à travers notre atmosphère.

Un grand nombre d'aurores restent cachées chaque année par un ciel nuageux ou brumeux, mais on voit que, pendant l'activité maxima du soleil, les maxima des aurores se produisent en mars, avril, septembre et octobre, c'est-à-dire pendant les équinoxes, circonstance démontrant le lien intime entre ces phénomènes d'origine électrique et la position du soleil par rapport à la terre. Quant la terre se trouve, dans leur orbite, dans un même plan avec les zones équatoriales de la surface solaire, les conditions pour la décharge d'électricité d'origine solaire sont les plus favorables ; pendant l'année terrestre, la distance entre les régions les plus perturbéesdu soleil et la surface terrestre est minima en avril, en octobre et en novembre, et le nombre des essaims d'étoiles filantes et de bolides qui passent par l'atmosphère terrestre est maximum.

L'ensemble de ces rapprochements d'observations des aurores et des jours périodiques des passages d'étoiles filantes et de bolides doit nous faire penser à un lien intime entre le champ électrique solaire, le passage des corps cosmiques au voisinage de la terre et les aurores considérées comme décharges d'électricité cosmique vers la terre.

Ch.-V. Zenger.

EXTRAITS

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

COMMUNICATIONS

Note sur la téléphonie aux Etats-Unis (1), par G. de la Touanne

I. — Distribution dans les réseaux souterrains.

On a été généralement mal satisfait, aux États-Unis, du service donné par les boîtes de distribution ; celles-ci sont fort commodes pour diviser entre plusieurs câbles secondaires les conducteurs qui y aboutissent par un gros câble ou en changer la répartition ; cependant les systèmes combinés jusqu'ici présentent le grave inconvénient d'entraîner une diminution dans la résistance d'isolement des fils : non seulement il y a toujours difficulté à obtenir une bonne fermeture étanche, mais on enferme nécessairement dans la boîte, de temps à autre, de l'air humide, d'abord parce que les boîtes sont placées dans des trous d'hommes ou autres lieux bas et généralement humides, ensuite parce que l'ouverture se fait dans une saison quelconque et par les temps les plus divers. Il n'est peut-être pas impossible de combiner un système tel que les attaches des fils, une fois faites, soient pratiquement soustraites à l'influence de l'air humide et l'on doit espérer que le problème recevra une solution ; on peut se demander néanmoins si, dans certains cas où l'emploi de ces boîtes serait reconnu particulièrement désirable, le système le plus simple ne serait pas d'y enfermer l'air sec et de les disposer de manière à y appliquer le lavage à l'air sec. Quoi qu'il en soit, dans l'état présent, les boîtes de distribution sont d'un médiocre service et l'on n'y a pas recours. Lorsqu'il est nécessaire de prendre sur un câble un certain nombre de conducteurs, on soude sur le gros câble un câble plus petit dont les fils sont raccordés à ces conducteurs et en constituent ainsi l'extrémité ; quelques conducteurs, dans le gros et dans le petit câble, sont, bien entendu, réservés pour les besoins futurs et sont tout d'abord laissés disponibles.

Ce mode de raccord est excellent ; malheureusement le système a le défaut de manquer de flexibilité. Déjà, si les branchements en câbles secondaires sont faits à l'extrémité du câble principal, il est impossible de transférer un conducteur d'un câble secondaire dans un autre ; néanmoins tous les fils du câble principal peuvent être considérés comme utilisés, ou utilisables dans un avenir rapproché. Mais ce cas, tout favorable qu'il soit relativement, est exceptionnel ; il se présente par exemple au début de l'installation d'une canalisation dans un réseau déjà vieux ; au bout de quelque temps, cette façon de procéder devient impraticable. On ne peut, sous peine d'augmenter dans une énorme proportion le nombre des fils en réserve et d'immobiliser un capital considérable, s'imposer de ne faire de branchements sur un câble de cinquante à cent paires qu'à l'extrémité dudit câble : en fait, on branche des câbles secondaires en différents points du câble principal et il se produit ceci, que des sections entières de fils, situées au-delà du point de branchement, restent inutilisées. Il est évident que l'inconvénient devient de plus en plus grave à mesure qu'on adopte des câbles principaux renfermant un nombre de conducteurs de plus en plus grand. D'autre part, l'emploi des câbles à cinquante paires est en lui-même plus économique que celui des câbles moindres et celui des câbles à cent paires l'est encore davantage. Le problème à résoudre est donc des plus intéressants.

Distribution multiple. — Voici la solution qu'on a proposée récemment et que l'on commence à expérimenter. Supposons, à titre d'exemple, que d'un point origine (bureau central) A, à un point terminal L, il existe neuf branchements B, C, D, E, F, G, H, I, K, correspondant à des groupes de maisons d'abonnés *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, le point terminal L correspondant à un groupe *l*. On sait, grâce

(1) *Annales télégraphiques*, 1894.

à l'expérience acquise antérieurement, que l'ensemble des groupes *b*, *c*, *d*, par exemple, augmentera de 10 o/o, presque sûrement, dans un délai assez rapproché, mais on ignore comment se répartira cette augmentation entre les trois groupes *b*, *c*, *d*, et même comment, par suite des déménagements, cessation d'affaires, créations de nouvelles industries, etc., se répartiront, entre les trois groupes, les postes d'abonnés qui en font actuellement partie, considérés au seul point de vue du nombre. Si l'on veut parer aux besoins, on sera obligé, avec le système précédent, de prévoir dans chaque branchement non pas seulement 10 o/o d'augmentation, mais 15 o/o et peut-être plus parce qu'on ne peut savoir si les 10 o/o de l'ensemble, pour n'envisager que cet élément de modification, ne se porteront point en majeure partie sur un ou sur deux des groupes, sans affecter le troisième : une

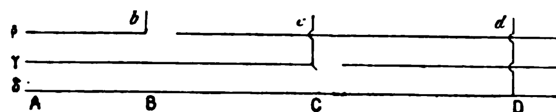


Fig. 1.

prévision de 10 o/o pour l'ensemble des trois groupes va donc se traduire par l'immobilisation effective d'un nombre de conducteurs égal à 15 o/o du nombre de ceux en service ; c'est-à-dire que le nombre de conducteurs immobilisés sera de 50 o/o supérieur à ce qu'il devait être et que, dans les sections BC, CD, un nombre correspondant de conducteurs sera inutilisable : seront également inutilisables les portions de conducteurs comprises dans ces sections et formant le prolongement des conducteurs en service dans le groupe *b* et de ceux en service dans le groupe *c*. Il sera impossible de s'en servir pour transférer, dans *c* par exemple, des postes abandonnés dans *b* et qu'il faut remplacer numériquement par autant de nouveaux postes à établir dans *c*. Au lieu de cela, laissons tous les conducteurs (β, γ, δ), partant de A et qui sont en service dans l'un quelconque des trois groupes *b*, *c*, *d*, continus de A jusqn'en D, ajoutons-y, dans les mêmes conditions, 10 o/o du nombre total, à titre de réserve ; puis, en B, C, D, prenons des ***dérivations*** sur tous ses conducteurs ; nous serons toujours en mesure de relier aux conducteurs β tous les abonnés du groupe *b*, aux conducteurs γ tous ceux du groupe c, aux conducteurs δ tous ceux du groupe *d* : si nous laissons isolées en C et en D toutes les dérivations provenant des conducteurs β, les abonnés de *b* parleront dans les conditions normales, à une augmentation près dans la capacité de la ligne, provenant des longueurs de fils ajoutées dans le câble et dans les dérivations : nous reviendrons tout à l'heure sur cette augmentation. De même pour les groupes *c* et *d*. Nous aurons donc déjà la faculté de transporter un poste du groupe *b* dans le groupe *c* ou le groupe *d*

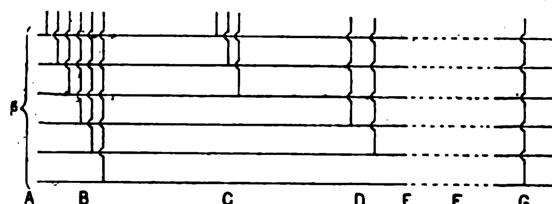


Fig. 2.

sans toucher au câble principal, en nous servant des sections de fil contenues dans ce câble même et isolant dans le groupe *b* la dérivation qui y correspond, puis reliant le nouveau poste à la dérivation prise sur les mêmes conducteurs β en C ou en D. En même temps, nous nous serons ménagé les 10 o/o de conducteurs de réserve qui étaient nécessaires à l'ensemble des trois groupes *b*, *c*, *d* ; nous n'aurons pour cela immobilisé effectivement qu'un nombre de conducteurs φ égal à 10 o/o de celui des conducteurs en service, ce 10 o/o pouvant être utilisé en l'un quelconque des trois groupes *b*, *c*, *d*. On paraît s'être arrêté, en ce moment, au nombre de trois dérivations au plus sur chaque circuit. En réalité, on ne prendra pas les trois dérivations de chacun des conducteurs des groupes β, γ, δ, la première en B, la seconde en C, la troisième en D. On placera évidemment (fig. 2) en B toutes les premières dérivations, β′, des conducteurs β

parce que cela est indispensable pour desservir les abonnés du groupe *b*; mais les deuxièmes dérivations β'' ne seront placées en C que pour un certain nombre de conducteurs β; d'autres seront mises en D ainsi que quelques-unes des troisièmes β'''; celles restant disponibles sur les trois admises seront réparties entre les groupes *e*, *f*, *g*,... donnant ainsi le maximum de flexibilité au système. On procèdera de même pour les conducteurs des groupes γ, δ,... et pour les fils de réserve. Plus tard et seulement quand les divers branchements constitués à un certain point suffiront, ou à peu près, à utiliser les conducteurs d'un câble principal, on posera un nouveau gros câble, celui-là direct, sans dérivations, comme tronc commun à ces branchements qu'on enlèvera, en presque totalité, aux câbles principaux omnibus. On aura économisé du temps, de l'argent et des fausses manœuvres.

L'objection qui se présente est celle relative à l'accroissement de capacité des lignes d'abonnés; c'est en partie pour y répondre qu'on a résolu de ne pas multiplier outre mesure les dérivations : on a décidé en outre que l'accroissement de capacité dû aux dérivations ne devrait pas élever cette capacité au-dessus de celle correspondant à la capacité kilométrique qu'on avait assignée comme limite supérieure pour les câbles souterrains, après l'avoir reconnue satisfaisante, et au-dessous de laquelle se tiennent toujours les constructeurs.

Cette méthode nous paraît mériter considération.

II. — Influence des réseaux de tramways électriques sur l'enveloppe métallique des cables souterrains.

Les réseaux de tramways électriques à conducteur aérien unique se sont développés d'une façon remarquable pendant les dernières années; la plupart du temps, les rails sont alors employés pour le retour du courant moteur. Il s'est trouvé que, dans un certain nombre de villes dotées de câbles téléphoniques souterrains, la coexistence des deux réseaux a entraîné l'attaque partielle et quelquefois la perforation complète des tubes de plomb formant le revêtement des câbles. Le même phénomène s'est d'ailleurs manifesté sur les conduites d'eau ou de gaz, bien que la nature des entreprises les utilisant et les conditions dans lesquelles sont posées ces conduites aient généralement empêché de les remarquer aussi promptement.

A l'examen, il a été reconnu : 1° qu'il existait des sections où le tube de plomb servait de conducteur aux courants de retour des tramways et que, sur certaines sections, le courant allait du câble au sol, sur d'autres, du sol au câble; 2° que, partout où la destruction s'accomplissait, la portion du tube atteinte était en contact avec des parois humides (sol, murs de trous d'hommes...), et qu'en ces points un courant passait du tube au sol : c'est l'action d'électrolyse s'exerçant dans le sens ordinaire. D'autre part, il n'y a pas de doute que les différences de potentiel constatées entre le câble et le sol soient dues aux installations de tramways électriques; l'expérience suivante, faite à Boston, est très nette à cet égard. Le pôle négatif de la dynamo, à la station génératrice, étant relié au fil de trolley et le pôle positif à la voie, on a déterminé des districts (A) entourant les stations, où l'enveloppe en plomb était négative par rapport au sol et des districts (B) relativement éloignés des stations, où le sol était négatif par rapport au câble; puis, renversant les communications aux stations, c'est-à-dire reliant le fil de trolley au pôle positif des dynamos et la voie au pôle négatif, on trouva qu'autour des stations le câble était devenu positif par rapport au sol et négatif dans les parties de la ville plus éloignées; pour une raison quelconque les limites des districts s'étaient modifiées. Sauf ce dernier point, on peut expliquer dans une certaine mesure les effets constatés. Supposons que les communications sont celles indiquées en dernier lieu, le pôle positif des dynamos relié aux fils de trolley, le pôle négatif aux voies, c'est-à-dire au sol. Celui-ci est

souvent fort loin de posséder, comme on l'admet, une conductibilité pratiquement infinie et, dans certains cas, la résistance électrique entre deux points donnés sera plus grande que celle présentée par le revêtement en plomb d'un câble téléphonique : dès lors le revêtement de plomb en question servira de conducteur aux courants de retour pour une fraction plus ou moins forte. De plus, si, au voisinage de l'usine génératrice, l'action du pôle négatif des dynamos est prépondérante et rend le sol négatif, il n'en est plus de même à une certaine distance où le sol est électrisé positivement par la communication à travers les moteurs et le fil de trolley, bon conducteur, avec le second pôle des dynamos. Il est donc naturel que, dans cette dernière région, si un courant s'établit entre le sol et le câble, il aille du sol au câble et que, dans la première, il aille du câble au sol.

Quoi qu'il en soit, le dommage causé pouvant devenir considérable (un tuyau d'eau en fer a été percé en quatre semaines), divers moyens ont été mis à l'essai ou proposé pour le prévenir. On a remédié complètement au mal, à Boston, pour les câbles téléphoniques, en reliant les tubes de plomb qui en forment l'enveloppe aux pôles négatifs des dynamos près des stations centrales et à la voie dans le reste du réseau, les fils de trolley étant en communication avec les pôles positifs : les tubes deviennent ainsi négatifs par rapport au sol et les courants qui peuvent exister entre les deux corps en présence vont du sol au câble. Il ne serait pas exact cependant de présenter la solution comme absolue en principe, car, s'il se produit encore un courant entre le plomb et la terre, il y a possibilité de décomposition de sels alcalins existant à l'état de dissolution dans le sol et d'attaque par les éléments alcalins libérés, quand l'action du courant cesse ultérieurement.

Tout semble concourir d'ailleurs à prouver que le danger tient à l'insuffisance de conductibilité que présente la *voie* du tramway [1]. On peut citer en particulier ce fait que, dans une même ville, alors que les câbles étaient attaqués dans certaines rues où la voie servait de retour au courant, ils restaient indemnes dans une rue voisine où le retour s'opérait par l'ensemble des masses métalliques considérables supportant un chemin de fer aérien. Aussi la tendance est-elle à diminuer la résistance des joints entre rails consécutifs soit à l'aide de liens conducteurs supplémentaires de bonne conductibilité, soit même par la soudure des rails entre eux sur une grande longueur, 600 mètres par exemple, et emploi de liens conducteurs entre les sections ainsi constituées. D'une façon générale, il semble que le fil de retour spécial soit d'une médiocre efficacité et qu'il vaille mieux en utiliser le métal pour renforcer les liens aux joints des rails.

Nous ajouterons enfin que l'action destructive a été constatée dans des cas où la différence de potentiel mesurée entre un câble et le sol ne dépassait pas une fraction de volt et qu'il suffit parfois, nous avons cité tout à l'heure un exemple de ce genre, de deux ou trois semaines pour que l'action se manifeste.

(*A suivre.*)

[1] Nous disons avec intention *la voie* et non *les rails*, car la résistance propre de ceux-ci est extrêmement faible et probablement assez basse pour donner toute sécurité ; c'est aux joints, comme en témoignent les nombres ci-après, qu'apparaît le défaut de conductibilité. La résistance kilométrique d'une ligne à deux voies, avec rails non réunis aux joints par un lien de communication supplémentaire et les quatre séries de rails non reliées entre elles, fut trouvée, la terre étant sèche, de 0ω,4770. Les rails de chaque série furent reliés entre eux à l'aide de fils de fer de presque 6 millimètres et les quatre séries mises en communication entre elles ; la résistance kilométrique tomba à 0ω,0495 en terrain sec et 0ω,0445 en terrain humide, cela sans aucun fil de retour spécial. Sur les sections où les liaisons furent faites avec du fil de cuivre de même diamètre que le fil de fer précédent, rivé sur les deux rails adjacent ; et soudé à un fil de retour continu en cuivre, avec les rails reliés transversalement tous les 60 mètres, la résistance s'abaissa à 0ω,0128 en terrain humide.

Notes sur les moteurs à champ tournant par S.-P. Thompson (¹)

Les notes suivantes, compilées pour l'usage des étudiants du Technical College, de Finsbury, aideront à mieux faire comprendre le fonctionnement des machines de cette catégorie.

I. *Théorie élémentaire des moteurs à champ tournant*

On suppose que le champ tournant est produit de la manière connue par une combinaison de courants polyphasés, soit à 2, soit à 3 phases. On désire connaître les relations entre la vitesse de rotation du champ magnétique, la vitesse de la partie mobile de la machine, le couple de rotation et le rendement de la machine.

Soient :

Ω la vitesse angulaire du champ magnétique tournant. $\Omega = 2\pi n$ dans une machine bipolaire, ou $= \frac{2\pi n}{m}$ dans une machine multipolaire à m paires de pôles ; n fréquence de la période.

ω la vitesse angulaire de la partie mobile, ou *rotor* de la machine ; $\omega = 2\pi n_2$, en appelant n_2 le nombre de tours par seconde.

T le couple exercé entre la partie fixe (ou *stator*) et la partie mobile (ou *rotor*).

W la puissance communiquée par le stator au rotor.

w la puissance effective dépensée pour faire tourner le rotor.

$\Omega - \omega$ est le *glissement* du rotor par rapport au champ, ou la différence de leurs vitesses angulaires. Si le champ est animé d'une vitesse angulaire supérieure de $\Omega - \omega$ à celle du rotor, il est évident que l'action inductrice sur les circuits du rotor est exactement la même que si le rotor tournait en arrière avec une vitesse $\Omega - \omega$ pendant que le champ resterait stationnaire.

$W - w$ représente la puissance dissipée en échauffement des conducteurs du rotor, puisqu'elle est la différence entre la puissance totale fournie au rotor et celle qu'il utilise. Or, W est proportionnel à T et à Ω, et, par suite, avec des unités convenablement choisies on peut écrire $W = T\Omega$.

D'autre part, w est proportionnel à T et à ω, et peut être écrit $w = T\omega$.

Par conséquent, en divisant l'une par l'autre ces deux équations, il vient

$$\frac{w}{W} = \frac{\omega}{\Omega}.$$

Le rendement du rotor est donc égal au rapport des deux vitesses.

Le moteur à champ tournant n'est autre chose qu'une sorte de transformateur tournant dont les enroulements du stator et du rotor constituent respectivement les circuits primaire et secondaire. Or, si l'on faisait $\omega = \Omega$, il n'y aurait pas de courants induits dans les conducteurs du rotor, le stator agirait alors simplement comme une bobine de réaction ; il s'ensuit que si les courants primaires sont fournis à voltage constant, le flux magnétique tournant dans la machine avec la vitesse Ω, aura une valeur approximativement constante à toutes les charges, tout comme il en est du flux dans le noyau d'un transformateur.

De plus, s'il y a peu de dérivations magnétiques dans l'entrefer entre le stator et le rotor (c'est le cas des moteurs bien construits), ni le circuit primaire ni le secondaire ne présenteront de self-induction appréciable, et les courants dans le rotor seront en concordance de phase avec les forces électromotrices induites dans cette partie. Il en résulte que le maximum d'intensité de ces courants sera toujours atteint lorsque les conducteurs seront dans la partie du champ à plus forte densité de flux; et comme le flux est constant à toutes les charges, le couple sera proportionnel à l'intensité des courants dans le rotor. Mais celle-ci est elle-même proportionnelle au glissement $\Omega - \omega$; donc, T sera proportionnel à $\Omega - \omega$, et peut être écrit

$$T = b\,(\Omega - \omega),$$

en désignant par b une constante dépendant

(¹) *The Electrician*, 23 novembre 1894.

de l'intensité du champ, du rayon du rotor, et de la longueur et de la résistance des conducteurs de celui-ci.

Nous pouvons maintenant écrire :

watts utiles $w = b\,w\,(\Omega - \omega)$
watts totaux $W = b\,\Omega\,(\Omega - \omega)$
watts dissipés $W - w = b\,(\Omega - \omega)^2$

Nous pouvons donc immédiatement appliquer le diagramme bien connu des rendements d'un moteur, en traçant (fig. 1) un carré ABCD, ayant son côté AB numériquement égal à Ω, et en découpant une partie BF égale à ω. L'aire AFHD représente la puissance totale fournie, l'aire AFGK, GLCH, la puissance utilisée, et le carré KGHD, la puissance dissipée en échauffement des conducteurs du rotor. Le rendement s'approchera de l'unité à mesure que F se déplacera vers A; et la puissance utile sera maxima lorsque $\omega = \frac{1}{2}\Omega$, le rendement n'étant alors que de 50 o/o.

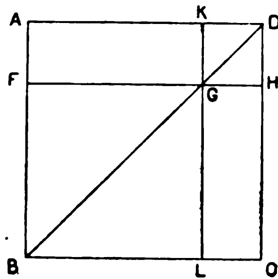


Fig. 1

Dans les bons moteurs à champs tournant, le glissement n'est au plus que de 4 o/o, excepté pour des machines de très petites dimensions, où il peut aller à 10 o/o à pleine charge.

Dans l'étude précédente il n'est pas tenu compte de la perte due à l'échauffement des conducteurs du primaire ou stator. Celle-ci, comme la perte RI^2 ordinaire dans le circuit d'excitation d'une dynamo, n'est qu'une faible partie de la puissance totale. On n'a pas considéré non plus les pertes par hystérésis dans le fer du stator, qui doit être compensée par une excitation additionnelle, mais qui, dans une machine bien établie, est faible. Les pertes par hystérésis ou par courants de Foucault, dans le fer du rotor doivent, comme les frottements aux coussinets, être déduites de la puissance disponible ; mais ces pertes sont nécessairement faibles puisque les alternances du magnétisme dans le rotor sont proportionnelles, non à Ω, mais à Ω — ω.

2. *Flux magnétique résultant dans le moteur.*

On vient d'établir, par analogie avec les conditions des transformateurs, que le flux magnétique dans un moteur est approximativement constant à toutes les charges. On peut montrer aussi, comme conséquence de la loi d'hystérésis que (dans un moteur bipolaire) le flux dans le rotor présente approximativement une densité uniforme et que, par suite, dans l'entrefer ce flux sera distribué avec une densité variant comme une fonction sinus d'un point de la périphérie à l'autre. Appelons B la densité de ce flux dans la direction où elle est maxima. Cette densité (ou induction magnétique), comme celle du noyau d'un transformateur, est la résultante des actions magnétisantes des enroulements primaire et secondaire. Kapp a donné une discussion de la réaction qui peut être résumée ainsi :

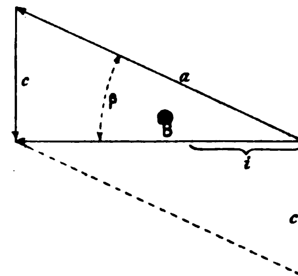


Fig. 2.

Prenons une droite B, pour représenter (fig. 2) le maximum de densité de flux dans le moteur ; on peut la considérer comme tournant autour d'une de ses extrémités comme centre. Ce champ est dû à l'action combinée du champ excité dans le stator par les courants primaires et du champ induit excité dans le rotor par les courants secondaires. Ces derniers sont en phase avec le champ résultant (s'il n'y a pas de dérivations magnétiques), proportionnels à ce champ et au glissement. Ils tendent à produire une réaction magnétique transversale. On peut les représenter par une longueur *i* portée sur le côté B. Ce courant *i* tend à pro-

duire une aimantation transversale qui lui est proportionnelle. La droite c, perpendiculaire à B, représente ce champ transversal. Ici, $c = ki$, où k est un coefficient dépendant des données de construction. Complétons le triangle Bca en menant le côté a. Celuici représente en grandeur et en phase le champ magnétique qui doit être produit dans le stator par les courants primaires, puisque B est la résultante de a et c.

De plus, puisque le couple est proportionnel à la fois à B et à i, c'est-à-dire à B et à c, l'aire du triangle aBc représente ce couple.

Enfin, i étant proportionnel au glissement, à B et à une constante dépendant de la conductibilité du circuit du rotor, nous pouvons écrire :

$$i = \frac{\text{B} \times \text{glissement}}{\text{R}};$$

ou

$$\text{glissement} = \frac{i\text{R}}{\text{B}};$$

et en substituant $\frac{c}{k}$ à i,

$$\text{glissement} = \frac{c}{\text{B}} \times \frac{\text{R}}{k};$$

mais $\frac{c}{\text{B}} = \text{tang } \theta$; par conséquent, le glissement est proportionnel à R tang θ.

III. — *Conditions de fonctionnement.*

Il y a trois phases principales à considérer dans le fonctionnement du moteur; pour le moment, nous admettrons que le voltage d'alimentation est constant, et que la machine ne présente pas de fuites magnétiques.

1° *Démarrage.* — Au début, $\omega = 0$ et glissement $= \Omega$. Courants primaires et courants dans le rotor d'énorme intensité. Par suite, θ, l'angle de différence de phase entre les courants primaires et le champ résultant, est très grand. Couple énorme, s'il n'y a pas de dérivations magnétiques.

2° *Marche à faible charge.* — Dans ce cas, ω est presque égal à Ω; et comme le glissement est petit, les courants induits et leur réaction seront faibles L'angle θ sera petit, et a ne sera pas de beaucoup supérieur à B.

3° *Marche à pleine charge.* — Ici, le glissement $\Omega - \omega$, doit être assez considérable pour permettre la production, dans le rotor, de courants assez intenses pour engendrer le couple nécessaire à la vitesse voulue.

Si la vitesse était artificiellement portée au synchronisme en fournissant extérieurement la puissance mécanique nécessaire pour vaincre le frottement, etc., il n'y aurait ni courants induits dans le rotor, ni couple; si la vitesse du synchronisme était même dépassée, de manière que le rotor tournât plus vite que le champ, la machine agirait comme génératrice.

IV. — *Couple de démarrage lorsque le champ primaire est limité.*

Supposons que, pour une cause quelconque (présence de self-induction dans le stator ou dans le rotor, due par exemple aux dérivations magnétiques), le champ primaire a ne puisse dépasser une certaine valeur. C'est le cas lors-

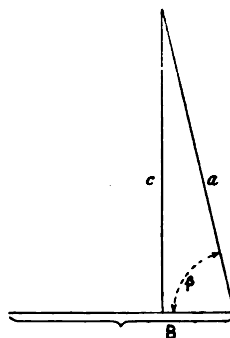


Fig. 3.

que l'alimentation n'est pas opérée à voltage constant. Au démarrage, quand le glissement est grand, le triangle aBc affectera alors la forme de la figure 3; car, si le glissement est proportionnel à R tang θ, et si R est petit, tang θ doit être très grand, ou θ sera de près de 90°, et le couple (représenté par la surface) sera très petit. Si nous augmentons R, nous diminuons nécessairement tang θ, B devient plus grand, l'aire du triangle également, et nous obtenons un couple de démarrage plus considérable. Voilà pourquoi, en introduisant dans le circuit du rotor une résistance non inductive nous permettons à la machine de démarrer avec un plus grand couple.

V. — *Relation entre le couple et le glissement.*

Pour obtenir une expression du couple en

fonction du glissement et de la résistance du rotor, nous remarquons que d'après la figure 2 :

$$c = a \sin \beta,$$
$$B = a \cos \beta.$$

Or, d'après l'équation

$$\text{glissement} = \frac{c}{B} \times \frac{R}{k}$$

nous obtenons

$$\frac{\text{glissement}}{R} \times k = \frac{c}{B}.$$

Par conséquent, en modifiant simplement l'échelle de la figure 2, nous pouvons donner aux côtés du triangle les désignations de la figure 4, où s désigne le glissement.

Nous voyons que

$$\sin \beta = \frac{s}{\sqrt{R^2 + s^2}}$$
$$\cos \beta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + s^2}}$$

Le couple T, qui est proportionnel à $c \times B$, sera donc proportionnel à $a^2 \sin \beta \cos \beta$, et en

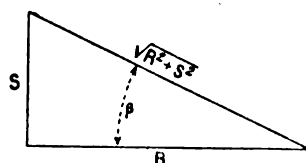


Fig. 4.

appelant q une constante de construction, nous obtenons :

$$T = q \frac{sR}{R^2 + s^2}.$$

Si nous désirons examiner graphiquement la signification de cette équation, nous pouvons construire la courbe de T en fonction de s, en donnant à R une valeur définie.

Prenons (fig. 5), pour représenter la vitesse de rotation du champ magnétique, la ligne OX, et coupons en une partie OQ, représentant la vitesse du moteur. Le reste, QX, représentera le glissement. Cela équivaut à porter le glissement en abscises à partir de X. Les ordonnées donnent les valeurs du couple telles qu'elles résultent de l'équation. Par exemple, lorsque $QX = s$, PQ donne la valeur correspondante de T. Nous obtenons ainsi une courbe XPt_1, commençant à X, où le glissement est nul, s'élevant rapidement, passant par un maximum, et s'abaissant graduellement jusqu'à la valeur Ot_1, qui est celle du démarrage.

Le couple présente un certain maximum pour lequel $\beta = 45°$ On remarquera que la partie abrupte de la courbe est presque droite, étant en effet asymptotique à une droite qui représenterait la relation entre le couple et le glissement dans le cas où le champ magnétique serait constant et où il n'existerait pas de fuites magnétiques.

En fait, cette ligne correspond à l'expression $T = b\,(\Omega - \omega)$ du premier paragraphe de ces notes. Si dans notre dernière équation, nous considérons des valeurs de s, petites par rapport à R, l'équation peut être écrite $T = q \frac{s}{R}$

A l'autre extrémité de la courbe, où le glissement est grand, la courbe est concave. Ici,

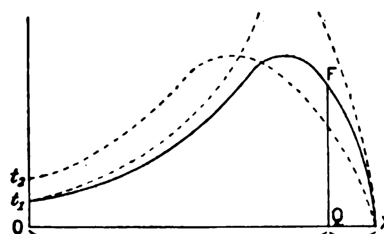


Fig. 5.

nous aurons une approximation en supposant s très grand par rapport à R ; dans ce cas, l'équation se réduit à $T = q \frac{R}{s}$. C'est l'équation d'une hyperbole (indiquée en pointillé sur la figure).

Lorsque le moteur est au repos $s = \Omega$, ou $QO = \text{zéro}$, et Ot_1 a pour valeur $T = q \frac{R}{\Omega}$.

C'est-à-dire qu'*au démarrage* le couple est proportionnel à la résistance du rotor. Si nous donnons à R une valeur plus élevée, nous obtenons une nouvelle courbe (également indiquée en pointillé) débutant en X, s'élevant à un maximum de même hauteur que le premier puis s'abaissant à t_2. Donc en introduisant des résistances, on augmente le couple de démarrage ; mais en même temps le couple maximum se produit à un glissement plus grand. Le moteur fournit pratiquement la même puissance

que précédemment, mais tourne avec une plus grande différence de vitesse entre pleine charge et charge nulle. Le rendement à pleine charge est aussi diminué. Si, avec un glissement de 5 o/o et un rendement de 95 o/o, nous n'obtenons pas un couple de démarrage suffisant, nous pouvons introduire des résistances et nous contenter de 10 o/o de glissement et de 90 o/o de rendement à pleine charge. On comprend donc la raison pour laquelle on construit les moteurs de façon qu'au démarrage, on puisse intercaler une résistance que l'on met en court circuit dès que le moteur a atteint une vitesse suffisante.

Signaux pour tramways électriques à simple voie.

A Denver, dans le Colorado, quelques-unes des lignes de tramways électriques sont à simple voie, avec évitements de distance en distance. Pour éviter que les voitures puissent se rencontrer entre deux aiguillages. M. G. Matthews, électricien de la Compagnie, a inventé le dispositif suivant que M. C. K. Durbin décrit ainsi dans *The Street Railway Journal* :

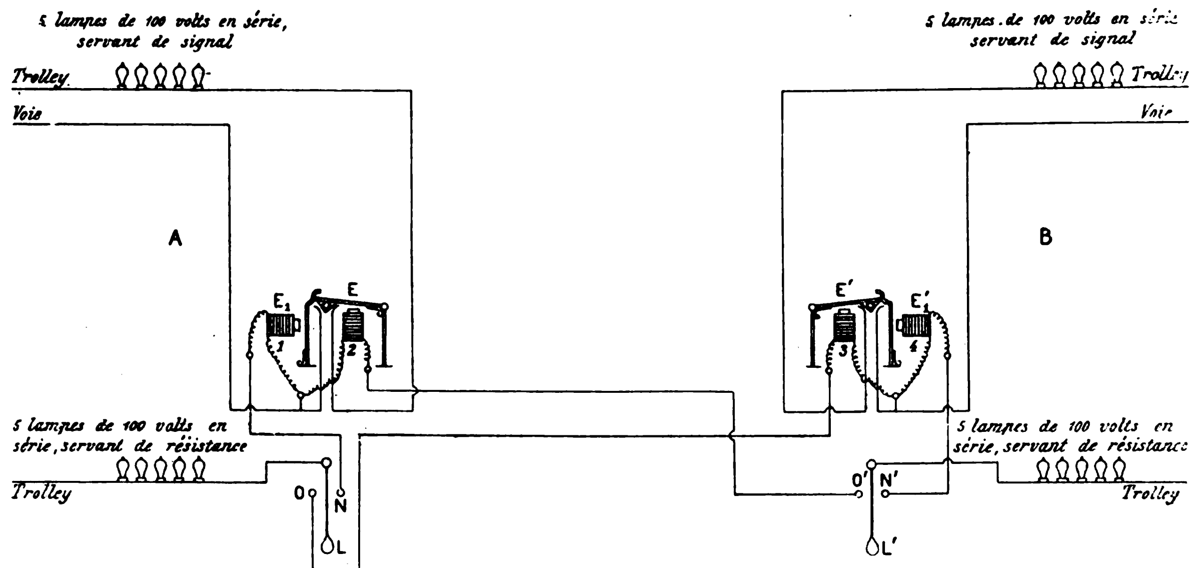


Fig. 1. — Signal pour tramways électriques à simple voie.

Pour envoyer un signal de la station A à la station B, le conducteur déplace le levier L, sur la touche O. Un ressort repousse ce levier dans sa position primitive. Un circuit est ainsi fermé, qui commence au trolley, comprend les cinq lampes inférieures placées dans une boîte fermée au sommet du bras du trolley, va ensuite, par le commutateur, la ligne et la bobine n° 3, à la station B, où il prend terre.

L'électro-aimant E' attire son armature et les lampes supérieures de la station B sont allumées. Elles resteront ainsi, jusqu'à ce qu'elles soient éteintes en B. En arrivant en ce point, le conducteur manœuvre le commutateur L sur la touche N, ce qui envoie un courant sur la bobine n° 4 et a pour effet d'ouvrir le circuit et d'éteindre les lampes. Pour envoyer un signal de B en A, la manœuvre est identique.

Si, en arrivant à une station de garage, les employés voyaient les lampes placées sur le bras du trolley allumées, ils seraient avertis que l'autre voiture est sur la voie, et qu'ils doivent attendre son arrivée. Ce dispositif a été mis en service depuis plus d'un an et a donné pleine satisfaction.

Sur le lancement des navires; par W.-J. Baxter.

Le lancement des navires donne lieu à certaines déterminations dans lesquelles l'électricité peut jouer un rôle très utile.

Ce qui suit a été extrait d'une note sur le

lancement des navires publiée par M. Baxter, ingénieur de la marine des États-Unis et se rapporte aux deux croiseurs le *Raleigh* et le *Texas*.

Des renseignements précis et complets relatifs aux vitesses et aux coefficients de frottement pendant le lancement d'un navire sont d'une grande importance pour la détermination de la résistance du navire après le lancement et de la puissance nécessaire pour l'arrêter après avoir quitté le chantier. Pour arriver à ce but on a imaginé un appareil pour enregistrer automatiquement la vitesse pendant le lancement; cet appareil a donné pleine satisfaction.

L'une des extrémités d'un fil de longueur convenable est enroulée sur un tambour; ce fil fait ensuite un tour sur une roue pouvant se mouvoir librement; l'autre extrémité du fil est attachée au navire. La roue suivra ainsi le mouvement du navire et, si le fil reste constamment tendu, on peut en connaissant le diamètre de la roue et le nombre de tours effectués mesurer le chemin, parcouru par le navire. Si en outre, on enregistre la vitesse de la roue à chaque instant, on peut déterminer la vitesse du navire, son accélération et le coefficient de frottement.

Voici la description de l'appareil employé :

Sur une forte pièce de bois, on a fixé solidement deux supports rigides; l'un porte une poulie tournée et ajustée avec soin; l'autre un fort tambour sur lequel on avait enroulé 300 mètres de fil d'acier de piano nº 16. L'un des côtés de ce tambour était entaillé d'une rainure dans laquelle passait une corde en chanvre tendue par un baril rempli d'eau et agissant comme frein. Le fil faisant un tour sur le tambour était tendu par le frein de telle façon qu'il n'y avait pas de mou et, comme précaution supplémentaire, on avait disposé un réservoir qui remplissait graduellement le baril, et par suite, tendait de plus en plus le fil au fur et à mesure qu'il se déroulait.

La vitesse de révolution était enregistrée par un apparel dû à M. Weaver. Cet ingénieux instrument avait été imaginé par son auteur pour déterminer la vitesse des navires par l'enregistrement du nombre de tours des arbres des hélices, méthode proposée par M. Malville. Il se compose d'un chronographe pourvu de cinq plumes actionnées par un courant électrique. Lorsque le circuit correspondant est fermé, la plume marque un point sur une bande de papier qui se déroule avec une extrême régularité, à l'aide d'un mouvement d'horlogerie. La plume centrale enregistre la seconde; elle est actionnée régulièrement par un chronomètre. Les deux plumes extérieures marquent simultanément le commencement et la fin de chaque mile mesuré; les deux plumes intermédiaires enregistrent le nombre de tours, l'une de l'hélice de bâbord, l'autre de celle de tribord. L'ensemble de ces renseignements permet de tracer sur la bande de papier une ligne sur laquelle sont mesurées les fractions de temps et de tours.

Dans les expériences actuelles, l'axe de la poulie mue par le fil fermait une fois par tour le circuit d'une des plumes intermédiaires. Le circuit d'une des plumes extérieures était fermé par un commutateur actionné à la main par l'observateur. La plume centrale était commandée par un chronomètre à contact électrique. L'enregistreur et deux séries de poulies et tambours, furent placés sous la plateforme de lancement, à l'avant. Quand les ouvriers commencèrent à scier la pièce d'arrêt, l'observateur fit fermer le circuit et mit l'appareil en marche. La plume des secondes marqua dès ce moment ses points régulièrement espacés, et aussitôt que le navire s'ébranla, les plumes intermédiaires qui enregistraient le nombre de tours, commencèrent à fonctioner. L'ensemble agissant automatiquement jusqu'à la fin de l'opération. L'observateur enregistrait, au moyen des plumes extérieures, le moment du départ, du jetage des ancres, des virages, du bris des arrêts, tension des petits câbles, etc.

Avec le *Texas*, les deux fils furent attachés au bateau, par mesure spéciale de précaution; l'une d'elles se brisa dans les commencements

du mouvement; on obtint des signaux par la seconde, jusqu'à ce que le navire fût complètement arrêté.

Au moyen des données ainsi obtenues, on trace la courbe des distances parcourues, de laquelle on peut déduire la courbe des vitesses, puis celle des accélérations qui sert à déterminer les coefficients de frottement.

L'exactitude des expériences, due à l'emploi des fils tendus et à l'admirable fonctionnement de l'enregistreur chronographique de Weaver, est telle que les moindres détails de l'opération peuvent y être perçus et analysés.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Détermination de l'ohm international en mesure absolue, par J.-V. Jones (1).

Le rapport du Comité des étalons électriques de l'Association britannique, lu à chacune des réunions annuelles de cette Association, présente toujours le plus grand intérêt. Parmi les communications faites cette année à la session d'Oxford, celle de M. Jones, relative à la détermination de la valeur de l'ohm vrai, est des plus importantes.

Rappelons qu'au dernier Congrès électrique international, tenu à Chicago en 1893, il a été décidé que l'unité de résistance serait désormais *l'ohm international*, défini comme étant *la résistance qu'offre à un courant invariable une colonne de mercure maintenue à la température de la glace fondante, de section constante, de 14,4521 grammes de masse et de 106,3 cm. de longueur*. La section d'une colonne de mercure ainsi définie étant de 1 mm²., l'ohm international diffère donc un peu de l'ohm légal, défini par la conférence internationale de 1884, comme étant *la résistance à la température de la glace fondante, d'une colonne de mercure de 106 cm. de longueur et de 1 mm². de section*. L'ohm international se rapproche plus que l'ohm légal de *l'ohm vrai*, défini comme étant égal à 10^9 unités électromagnétique C. G. S., la moyenne des mesures les plus récentes et les plus précises donnant précisément 106,3 cm. pour la longueur de la colonne de mercure qui, ayant 1 mm². de section à la température de la glace fondante, présente à cette température une résistance de 10^9 unités électromagnétiques C. G. S.

Ce point rappelé, passons aux expériences de M. Jones.

En 1890, cet expérimentateur avait déjà déterminé par la méthode de Lorenz, la résistance spécifique du mercure et avait trouvé pour cette résistance 94 067, comme moyenne de ses résultats; il en résultait 106,307 cm. pour la longueur de la colonne de mercure représentant l'ohm vrai (1). Dans les expériences, les écarts entre les diverses valeurs obtenues pour la résistance spécifique du mercure atteignaient 46 unités, soit 12 unités pour 1000. Le mercure étant contenu dans un auget en paraffine, l'auteur attribua la grandeur de ces écarts à une variation de la section de l'auget par suite d'une variation de température de la paraffine, variation qu'on ne pouvait mesurer avec précision à cause de la mauvaise conductibilité de la paraffine. Une telle cause d'erreur n'étant pas à craindre avec des résistances métalliques solides, M. Jones estima qu'il obtiendrait la valeur de l'ohm vrai en colonne de mercure avec une plus grande précision s'il se bornait à utiliser son appareil à la détermination en unités C. G. S de la résistance d'un fil métallique préalablement comparé à une résistance mercurielle.

Dans ce but, il prend quatre bobines dont deux en fil platine-argent, ont une résistance de 10 ohms environ et les deux autres, en

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association britannique.

(1) Rapport du Comité des étalons électriques à la session de Leeds (1890); *La Lum. électr.*, t. XXXVIII, p. 379. — *Phil. Trans.*, 1891, A.

manganine, une résistance approximative de 0,1 ohm. La comparaison de ces bobines avec les étalons de l'Association a été effectuée par M. Glazebrook et fait l'objet d'une communication de ce dernier; leurs résistances sont exprimées en ohms internationaux.

Pour évaluer leur résistance en unités CGS, les bobines étaient disposées comme l'indique la figure 1, où R_1, R_2, R_3, R_4 représentent les bobines, D le disque tournant à l'intérieur de la bobine K, B la pile et G le galvanomètre. Quand l'aiguille du galvanomètre reste au zéro, on a entre les valeurs R_1, R_2, R_3, R_4 des résistances en ohms internationaux et la valeur x de l'ohm international en mesures absolues, la relation

$$\frac{R_2 R_4 x}{R_1+R_2+R_3+R_4} = Mn \qquad (1)$$

M étant l'induction mutuelle de la bobine K et de la circonférence du disque et n la vitesse de rotation de ce disque.

Les bobines, construites suivant le modèle adopté par l'Association Britannique, étaient immergées dans de l'eau; des thermomètres placés à l'intérieur des montures des bobines indiquaient leurs températures; une boîte en bois protégeait les quatre vases contenant les bobines contre le rayonnement des objets voisins.

La vitesse de rotation du disque était contrôlée au moyen d'un diapason entretenu électriquement en vibration et était mesurée au moyen d'un récepteur télégraphique électrochimique de Bain qui inscrivait les fermetures et les ruptures de contact entre du mercure contenu dans une coupelle fixe et un fil de platine attaché à un excentrique mû par l'axe de rotation du disque; ce récepteur inscrivait également les battements d'un pendule.

L'observateur placé près du galvanomètre changeait à chaque instant le sens du courant traversant cet instrument et lisait les déviations correspondantes. La variation de la vitesse de rotation correspondante à une division de la déviation résultant du renversement du courant était déterminée préalablement. Par suite, on pouvait, de chaque série d'observations, déduire par un calcul simple la vitesse qu'aurait dû avoir le disque pour que l'intensité du courant galvanométrique soit rigoureusement nul et que, par suite, l'aiguille ne se déplace pas par le renversement du courant.

La moyenne de 10 séries d'expériences donne 0,99976 pour la valeur de l'ohm international en ohms vrais; le plus grand écart entre les résultats a été de 0,000106 soit environ un dix-millième. Ce nombre conduit à 106 326 pour la longueur de la colonne de mercure correspondant à l'ohm vrai; ce résultat est un peu plus grand que celui de 1890, 106,307 avec une approximation de 0,011.

L'une des principales causes d'erreur de ces expériences est la difficulté de connaître exactement la température des fils des bobines, température qui peut être différente de celle de l'eau environnante par suite de l'échauffement du fil par le passage du courant. Mais, par suite de la disposition adoptée, l'erreur résultant de cette cause ne peut être que très petite. En effet, si x est l'intensité, toujours très faible, du courant traversant le galvanomètre, celle du courant traversant les bobines de platine-argent n'est que $\frac{1}{201}x$ et ne peut produire une variation sensible de la température du fil de ces bobines. Il est vrai que l'intensité du courant traversant les bobines de 0,1 ohm est $\frac{200}{201}x$ et que celles-ci peuvent s'échauffer un peu; mais, comme ces bobines sont en manganine et que le coefficient de variation de la résistance de cet alliage avec la

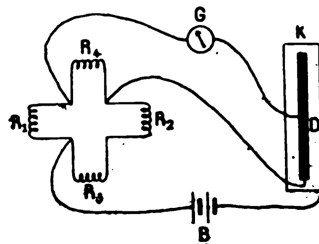


Fig. 1. — Détermination de l'ohm international en mesures absolues.

température est très faible, il ne pouvait en résulter un changement notable de la résistance. D'ailleurs, M. Jones a constaté que les résultats des dernières séries d'expériences, pendant lesquelles il laissait à dessein le courant traverser jour et nuit les bobines, donnaient les mêmes résultats que les premiers, où il avait soin de ne laisser passer le courant que pendant le temps nécessaire aux mesures. En outre, il s'est assuré par le calcul qu'en admettant que la chaleur dégagée par le courant en vingt-quatre heures reste entièrement dans le fil, il ne pouvait en résulter qu'une erreur de 2 cent-millièmes au plus.

Une autre cause d'erreur, inhérente à la méthode de Lorenz, est la difficulté de calculer rigoureusement le coefficient d'induction mutuelle M. Le rayon de la circonférence du disque qui entre dans ce calcul était facilement mesuré par une machine à diviser à 1/10000e de pouce près. La mesure du rayon moyen de la bobine où se meut le disque est plus délicate. M. Jones détermina ce rayon moyen le long de 18 diamètres et pense pouvoir compter sur une approximation de 1/1000e de pouce. Mais il y a lieu de faire observer que, par suite de la variation de la température, le rayon du disque et le rayon moyen de la bobine n'ont pas les mêmes valeurs au moment où on les mesure et au moment où l'on se sert de l'appareil. M. Jones s'est assuré par le calcul que cette cause d'erreur ne pouvait avoir aucune influence appréciable sur le résultat.

Un autre point digne de remarque est que, dans l'établissement de la formule (1), on prend Mn pour la force électromotrice d'induction développée par la rotation du disque, ce qui suppose que la bobine est rigoureusement circulaire. Or il résulte de la comparaison des longueurs des 18 diamètres que la section est légèrement elliptique, et l'on doit prendre dès lors pour expression de la force électromotrice

$$2\pi n \int_a^b r \mathrm{H} dr, \qquad (2)$$

où a et b sont les distances des points de contact des balais et du disque au centre de ce disque et H la force magnétique produite par un courant d'intensité I traversant la bobine en un point du disque situé à une distance r de son centre. A cause de la longueur des calculs qu'exige la détermination de cette intégrale, M. Jones n'a pas fait la légère correction qu'exigerait la faible ellipticité de la bobine ; il laisse ce soin à d'autres.

L'auteur fait encore observer qu'il est inexact de regarder comme d'importance secondaire, ainsi qu'on le fait généralement, un faible défaut de coïncidence du centre du disque et de l'axe de la bobine. Si la force électromotrice était donnée par le produit Mn quand le centre du disque est sur l'axe de la bobine, un faible déplacement de ce centre n'aurait en effet qu'une importance secondaire ; mais, comme cette force électromotrice est en réalité donnée par l'intégrale (2), tout déplacement du centre prend une importance considérable.

En terminant, M. Jones insiste sur ce point que les nombreuses observations qu'il a effectuées avec son appareil prouvent que les mesures absolues de résistance peuvent être faites avec une très grande précision par la méthode de Lorenz. Par suite, dit-il, un appareil de ce genre, construit avec soin, constituerait, pour un laboratoire national, le meilleur des étalons de résistance.

J. B.

Une nouvelle méthode pour magnétiser et astatiser les aiguilles de galvanomètres, par F.L.O. Wadsworth. (1)

La recherche du meilleur enroulement à adopter dans les galvanomètres ayant été l'objet des travaux des physiciens les plus éminents, il est peu probable que l'on puisse réaliser des types de galvanomètres beaucoup plus sensibles que les types existants (2). Toutefois,

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 482-488, novembre 1894.

(2) Voir à ce sujet la communication faite par M. Schuster à l'Association britannique. *Eclairage électrique*, p. 420, 1894, 1895.

d'après l'auteur, il est encore possible d'accroître cette sensibilité par un perfectionnement continu dans les détails et les méthodes de construction.

Si l'on considère en particulier le galvanomètre Thomson, son maximum de sensibilité ne sera atteint que si le système magnétique possède son maximum d'aimantation. Ce maximum d'aimantation dépend de trois facteurs : d'abord de la forme de chaque aimant et de leur arrangement les uns par rapport aux autres ; ensuite, de la qualité de l'acier employé pour faire les aimants et de la méthode de trempe et de recuit de cet acier ; enfin, de

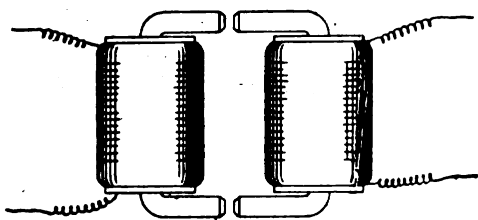


Fig. 1. — Electro-aimant double, de Wadsworth, pour l'aimantation des aiguilles de galvanomètres.

la méthode d'aimantation. L'auteur a constaté que l'intensité d'aimantation et, par suite, la sensibilité du galvanomètre dépendent de ce dernier facteur beaucoup plus qu'on le croit ordinairement et qu'en employant la méthode d'aimantation qu'il décrit la sensibilité d'un galvanomètre peut souvent être doublée et quelquefois même quadruplée.

La méthode que l'on emploie généralement pour construire le double système magnétique d'un galvanomètre Thomson consiste à aimanter le plus fortement possible entre les branches d'un électro-aimant chaque petit aimant, soit après l'opération de la trempe et du recuit, soit pendant cette opération même, puis à former un système astatique avec les petits aimants ainsi obtenus. Mais pendant le montage du système chaque aimant se trouve soumis à diverses influences démagnétisantes dont les plus importantes sont les chocs et les vibrations et la proximité d'autres aimants. Aussi est-il préférable de magnétiser, comme l'a fait M. Threlfall [1], chacune des parties du système magnétique lorsque celui-ci est fixé sur sa monture. Mais M. Threlfall emploie dans ce but deux électro-aimants séparés et il es difficile d'obtenir ainsi une aimantation d'égale intensité des deux portions du système. La méthode proposée par l'auteur n'exigeant qu'un seul électro-aimant évite cet inconvénient.

Cet électro-aimant, que représente la figure 1, est formé de deux bobines dont les noyaux, deux fois recourbés à angle droit, ont leurs quatre extrémités en regard deux à deux. La distance de ces faces polaires, égale à celle qui sépare les deux parties du système astatique du galvanomètre que l'on veut aimanter, est de 2 pouces 3/4 dans l'appareil employé par l'auteur. Avec un courant de 5 ampères lancé dans

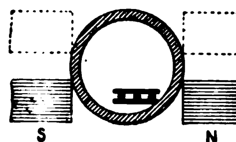


Fig. 2. — Méthode de Wadsworth pour astatiser les aiguilles de galvanomètres.

les bobines magnétisantes, cet appareil donne un champ de 5,000 unités CGS environ.

Le système magnétique, fixé sur une planchette en bois, est disposé de manière que les deux séries d'aimants se trouvent respectivement entre les faces polaires de l'électro-aimant qui sont recouvertes de lamelles de mica pour empêcher qu'il y ait contact entre ces faces et les barreaux à aimanter.

On lance alors le courant dans l'électro-aimant et, pour obtenir le maximum d'aimantation, on diminue ensuite graduellement le champ magnétique produit, soit en diminuant l'intensité du courant avec un rhéostat, soit, ce qui est préférable, en augmentant la distance des pôles de l'électro-aimant. On répète plusieurs fois cette opération, en ayant soin de frapper légèrement le support avec un bloc de bois, dans le but d'aider le changement de structure moléculaire. Après cette opération, le système magnétique est attaché à son sup-

[1] Mesure des hautes résistances. *Phil. Mag.*, t. XXVIII, p. 452, 1889.

port au moyen d'une fibre et placé dans un tube de verre suffisamment large.

Mais généralement les deux parties du système magnétique n'ont pas le même moment magnétique et, de plus, leurs axes magnétiques ne sont pas absolument parallèles. On reconnaît ce défaut de parallélisme en constatant que la direction du système ne coïncide pas avec celle du méridien magnétique terrestre. Pour rendre les axes des deux portions parallèles, on approche de la partie du système qui est la plus fortement aimantée un pôle d'aimant N (fig. 2) qui l'attire contre la paroi du tube de verre. On approche ensuite, dans la position qu'indique la figure, le pôle S d'un autre aimant. Si l'on retire brusquement N, le système magnétique se précipite vers S et le choc qui se produit contre la paroi du tube fait éprouver au système une légère torsion qui, pour la disposition correspondant à la figure, est dirigée de gauche à droite. Si l'on avait reconnu la nécessité de faire tourner l'axe de la partie la plus fortement aimantée de droite à gauche, pour le rendre parallèle à l'axe de l'autre, on aurait à effectuer les mêmes opérations, mais alors on plaçerait les aimants N et S dans les positions indiquées par les lignes ponctuées de la figure. On répète ces opérations tant qu'elles sont nécessaires pour arriver au parallélisme des axes, c'est-à-dire jusqu'à ce que le plan du système coïncide avec celui du méridien magnétique. Il faut, pour qu'elles réussissent, que la cire servant à fixer les aimants sur leur monture soit suffisamment molle; si elle est trop dure on a soin de la ramollir en la chauffant légèrement.

Les chocs subis par la partie la plus fortement aimantée dans les opérations qui précèdent, suffisent généralement pour diminuer son aimantation et la rendre sensiblement égale à celle de l'autre partie. Si ce résultat n'est pas atteint, on ajoute à la partie la plus faible un fragment d'une mince aiguille d'acier et l'on recommence l'aimantation du système ainsi modifié en ayant soin que la nouvelle aimantation soit du même sens que l'ancienne. Suivant l'auteur, cette série d'opérations ne demande que quelques heures à un opérateur exercé.

Pour donner une idée de l'augmentation de sensibilité que l'on peut obtenir en adoptant cette méthode d'aimantation, l'auteur cite les résultats qu'il a obtenus avec deux galvanomètres possédant déjà une extrême sensibilité.

Le premier est un duplicata du galvanomètre employé par M. Langley dans ses recherches bolométriques sur les radiations de grande longueur d'onde, galvanomètre que l'on considère comme le plus sensible qui ait été construit eu égard à sa faible résistance. La plus faible valeur de la constante galvanométrique de l'instrument de M. Langley était $C = 1{,}3 \times 10^{-9}$; celle du duplicata était $C = 1{,}5 \times 10^{-9}$, En aimantant par sa méthode le système magnétique de ce dernier, M. Wadsworth a pu réduire la valeur de cette constante à $C = 8 \times 10^{-11}$, c'est-à-dire doubler la sensibilité de l'instrument.

Le second était un galvanomètre spécialement construit pour l'Observatoire de Washington. A sa réception ses constantes étaient:

$$C = 1{,}6 \times 10^{-9},$$

lorsque les bobines étaient en série, $R = 309$ ohms

$$C = 5{,}5 \times 10^{-9},$$

lorsque les bobines étaient en parallèle, $R = 19{,}2$ ohms.

Après aimantation par la méthode qui vient d'être décrite, ces constantes devinrent :

$$C = 1 \times 10^{-10}$$

pour les bobines en série,

$$C = 3{,}4 \times 10^{-11}$$

pour les bobines en parallèles.

Dans la dernière partie de son Mémoire, l'auteur décrit un appareil permettant d'appliquer sa méthode d'aimantation à des systèmes magnétiques de longueurs différentes. Cet appareil se compose de quatre bobines entourant quatre noyaux de fer doux réunis deux à deux par deux culasses en fer dans

lesquelles ils peuvent être déplacés et fixés au moyen de vis de pression ; de cette manière les distances des pôles peuvent être variées à volonté. Nous n'entrerons pas dans les détails de cet appareil.

J. B.

Potentiels électriques dans un liquide conducteur en mouvement uniforme, par G. Gouré de Villemontée (1).

Les liquides (mercure, solutions de sulfate de cuivre, de zinc, de nickel, contenant 10 gr. de sel par litre d'eau distillée) s'écoulaient par des tubes de verre, de 3 mm. de diamètre pour le mercure et de 8 mm. pour les dissolutions, maintenus horizontalement dans un bain d'eau ou verticalement dans l'air. Deux électrodes de platine, soudées dans des tubes de verre recouverts électrolytiquement de cuivre, de zinc ou de nickel, étaient placées, soit toutes deux sur le trajet du liquide en mouvement, soit l'une dans le réservoir et l'autre dans le tube d'écoulement. Un électromètre capillaire très sensible servait à mesurer la différence de potentiel des électrodes. Les vitesses d'écoulement variaient de 33,5 à 323 mm. par seconde.

Ces expériences ont donné à l'auteur les résultats suivants :

« 1° Les différences de potentiel observées : 1° lorsque le liquide était immobile ; 2° lorsque le liquide était en mouvement, ont été trouvées les mêmes avec le mercure, les solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc, les durées de périodes successives de repos et de mouvement variant de 30 secondes à 6 minutes.

« 2° Les altérations chimiques, le passage des bulles d'air entraînées par la solution, produisent, entre les électrodes, des différences de potentiel relativement très grandes et toujours très variables avec l'état de repos ou de mouvement du liquide.

« 3° Des modifications très promptes des sels ou des électrodes de nickel n'ont pas permis d'obtenir, avec la solution de sulfate de nickel, des résultats concordants pendant les périodes alternatives de repos et de mouvement supérieures à 30 oecondes.

« *Conclusion.* — Le mouvement uniforme d'un liquide conducteur à travers des tubes de verre larges, de même section dans toute leur étendue, isolés, ne produit aucune différence appréciable de potentiel entre deux points du liquide, dans les limites où j'ai opéré. »

J. B.

(1) *Comptes Rendus*, t. CXIX, p. 1201, 24 décembre 1894.

Les nouveaux étalons électriques anglais

Par suite des décisions prises par le Congrès international des Électriciens, tenu à Chicago en 1893, les anciens étalons électriques du Board of Trade ont dû être légèrement modifiés. Les définitions de l'ohm, de l'ampère et du volt adoptées par le Congrès et auxquelles doivent répondre les nouveaux étalons ont déjà été indiquées dans ce journal (t. I, p. 189) ; nous donnons ci-dessous les démonstrations des nouveaux étalons :

I. *Étalon de résistance électrique.* — L'étalon de résistance électrique, appelé ohm, est la résistance entre les pôles de cuivre de l'instrument marqué « Board of Trade Ohm Standard Verified 1894 » pour un courant invariable, lorsque la bobine de fil isolé qui forme une partie de cet appareil et qui est reliée aux pôles de cuivre est, en tout point, à une température de 15° C.

II. *Étalon de courant électrique.* — L'étalon de courant électrique, appelé ampère, est le courant qui passe dans les bobines de fil formant une partie de l'instrument marqué « Board of Trade Ampère Standard Verified 1894 » quand, lorsqu'on renverse le courant dans les bobines fixes, la variation des forces agissant sur la bobine suspendue est exactement contrebalancée par la force qu'exerce la pesanteur à Westminter sur le poids de platine iridié marqué A et faisant partie de l'appareil.

III. *Étalon de pression électrique.* — L'étalon de pression électrique, appelé le volt, est la centième partie de la pression qui, lorsqu'elle s'exerce entre les pôles de l'instrument marqué « Board of Trade Volt Sandard Verified 1894 », produit une certaine rotation de la partie suspendue de l'instrument, rotation exactement mesurée par la coïncidence de l'image d'un fil avec une marque B pendant l'application de la pression, ces images étant produites par le miroir suspendu et observées au moyen d'une lunette.

Dans l'usage de ces étalons les limites de précision que l'on peut atteindre sont :

Pour l'ohm, la centième partie de 1 p. 100;
Pour l'ampère, la dixième partie de 1 p. 100;
Pour le volt, la dixième partie de 1 p. 100.

Dans le rapport d'où nous extrayons les définitions précédentes, se trouvent en outre deux instructions relatives, l'une à la manière de faire une mesure d'intensité au moyen du voltamètre à argent, l'autre à la préparation de l'élément Clark dont la force électromotrice sert à la définition du volt adoptée par le Congrès de 1893. Nous n'avons presque rien à dire sur cette dernière, nos lecteurs la connaissant déjà (*La Lum. Électr.*, t. XLV, p. 291, 6 août 1892). Nous transcrivons cependant les passages suivants qui ne se trouvaient pas dans les instructions précédentes et qui, sans avoir une grande importance, complètent le sujet:

« L'élément peut être scellé d'une manière plus sûre que par une couche de glu marine en y versant, lorsque la glu est déjà mise, une solution de silicate de sodium que l'on laisse durcir.

« Dans l'emploi de l'élément, des variations brusques de température doivent être évitées autant que possible.

« La forme du vase contenant l'élément peut varier. Dans la forme en H, le zinc est remplacé par un amalgame de 10 parties en poids de zinc et de 90 parties de mercure. Les autres matériaux sont préparés ainsi qu'il a déjà été dit. Le contact avec l'amalgame contenu dans l'une des branches du tube et le contact avec le mercure contenu dans l'autre branche, s'obtiennent au moyen de fils de platine traversant le verre. »

L'instruction relative au voltamètre à argent est reproduite ci-dessous :

« Dans la spécification suivante le terme voltamètre à argent désigne la disposition des appareils servant à faire passer un courant électrique dans une solution aqueuse d'azote d'argent. Le voltamètre à argent mesure la quantité totale d'électricité qui a passé pendant la durée de l'expérience, et, en notant cette durée, la valeur moyenne du courant; si le courant a été maintenu constant, le courant lui-même peut en être déduit.

« Dans l'emploi du voltamètre à argent pour la mesure des courants de un ampère environ l'arrangement suivant doit être adopté. La cathode sur laquelle l'argent doit se déposer sera une capsule de platine n'ayant pas moins de 10 cm de diamètre et 4 à 5 cm de profondeur.

« L'anode sera une plaque d'argent pur d'environ 30 cm. car. de surface et de 2 ou 3 mm. d'épaisseur.

« Cette anode sera supportée horizontalement dans le liquide et à une petite distance de la surface de celui-ci par un fil de platine passant dans des trous percés aux coins opposés de la plaque. Pour empêcher l'argent désagrégé formé sur l'anode de tomber sur la cathode, l'anode sera enveloppée de papier à filtre pur fixé avec de la cire à cacheter.

« Le liquide consistera en une solution de nitrate d'argent pur, contenant environ 15 parties en poids de nitrate pour 85 parties d'eau.

« La résistance du voltamètre est un peu modifiée par le passage du courant. Pour prévenir des variations ayant un trop grand effet sur le courant, quelque résistance, outre celle du voltamètre, sera insérée sur le circuit. La résistance métallique totale du circuit ne devra pas être inférieure à 10 ohms.

« *Manière de faire une mesure.* — La capsule de platine est lavée à l'acide nitrique et à

l'eau distillée, séchée par la chaleur et laissée à refroidir dans un dessiccateur. Quand elle est parfaitement sèche, elle est pesée avec soin.

« Elle est presque entièrement remplie de la solution et reliée au reste du circuit, après avoir été placée sur un support de cuivre propre auquel est fixée une borne de connexion. Ce support de cuivre doit être isolé.

« L'anode est alors immergée dans la solution de telle sorte qu'elle soit bien recouverte par celle-ci et elle est fixée dans cette position; les connexions avec le reste du circuit sont alors faites.

« Le contact est produit au moyen d'une clef notant l'instant du contact. Le courant est maintenu pendant au moins une demi-heure, et l'instant de la rupture du contact est observé. On doit avoir soin que l'horloge employée marche correctement pendant cet intervalle.

« La solution est alors retirée de la capsule et le dépôt est lavé avec de l'eau distillée, puis laissé en présence de l'eau pendant au moins six heures. Il est alors rincé, successivement avec de l'eau distillée et de l'alcool absolu, et séché dans une étuve à air chaud à une température d'environ 160°. Après refroidissement dans un dessiccateur la capsule est pesée de nouveau. Son augmentation de poids donne l'argent déposé.

« Pour obtenir le courant en ampères, ce poids, exprimé en grammes, doit être divisé par le nombre de secondes pendant lequel le courant a passé et par 0,001118.

« Le résultat sera la valeur moyenne du courant par unité de temps, si pendant l'intervalle le courant a varié.

« En déterminant par cette méthode la constante d'un instrument, le courant devra être maintenu aussi constant que possible et les indications de l'instrument observées à de fréquents intervalles. Ces observations donnent une courbe de laquelle on peut déduire l'indication correspondant au courant moyen. Le courant calculé par le voltamètre correspond à cette indication. »

J. B.

VARIÉTÉ

Henrich Hertz (¹)

A la même époque, il reprit l'étude de l'électrodynamique, qu'il ne devait plus abandonner, et commença par un mémoire sur les relations entre les équations fondamentales de Maxwell et les équations fondamentales de l'électrodynamique opposée (c'est-à-dire celle de Weber et de Neumann). C'est une œuvre de premier ordre, qu'il faut placer exactement au même rang que ses travaux postérieurs sur le sujet. Jusqu'ici on n'avait cherché l'antagonisme entre les théories que dans la différence de leurs énoncés relatifs aux propriétés des courants ouverts. Hertz montra qu'on peut, même dans le domaine des courants fermés uniformes, trouver un point où une distinction est possible. Ce point est le principe de l'unité de la force électrique et de la force magnétique. S'il n'y a qu'une seule force électrique, c'est-à-dire si la force qui produit une attraction ou une répulsion d'une tige d'ébonite frottée sur une balle de sureau chargée d'électricité est la même que la force par laquelle un aimant en mouvement ou soumis à une variation quelconque induit un courant électrique dans un conducteur, le même aimant doit aussi pouvoir mettre en mouvement une balle de moelle de sureau chargée; alors aussi réciproquement, en vertu du principe mécanique de l'action et de la réaction, un corps chargé d'électricité doit exercer des actions pondéromotrices sur un aimant variable, et enfin un aimant variable doit, abstraction faite de l'action magnétique ordinaire, exercer des actions pondéromotrices par suite d'une force électrique, qui dépend du mouvement relatif des aimants ou des variations de leur aimantation. Mais l'électrodynamique basée sur les actions à distance ne connaît que les actions pondéromotrices entre aimants, qui dépendent du magnétisme

(¹) Voir *l'Eclairage électrique* du 8 décembre 1894, p. 615.

lui-même, et non de ses variations en fonction du temps, et il en résulte que cette théorie, considérée au point de vue où nous nous plaçons, est incomplète. L'adjonction du terme correspondant fournit un terme de correction qui d'ailleurs est toujours très petit, parce qu'il contient le carré de la vitesse de la lumière en dénominateur. Mais on ne peut s'en tenir là. D'une correction sur les actions pondéromotrices résulte nécessairement, d'après le principe de la conservation de l'énergie, une correction sur des actions induites. Mais comme les forces inductrices doivent être essentiellement les mêmes que les forces pondéromotrices, il en résulte de nouveau une correction sur les actions pondéromotrices et la conclusion se répète indéfiniment. En effectuant la correction correspondante, on obtient évidemment, tant pour les actions pondéromotrices que pour les actions inductrices électriques ou magnétiques, des séries infinies qui procèdent suivant les puissances paires décroissantes de la vitesse de la lumière et qui, par suite, convergent en général. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que les séries satisfont rigoureusement aux équations que Maxwell a établies pour les perturbations électromagnétiques et qui donnent, comme vitesse, de propagation de ces perturbations, la vitesse de la lumière. Cette façon particulière de déduire la théorie de Maxwell de l'hypothèse d'une action à distance sans intermédiaire ne doit pas naturellement être considérée comme une preuve de cette théorie, parce qu'aucun résultat exact ne peut se déduire d'une hypothèse inexacte; ces considérations n'ont pour but que d'établir que l'hypothèse d'une action à distance immédiate, bien qu'elle fournisse une haute approximation pour les variations lentes est, en toute rigueur, incompatible avec le principe simple et plausible de l'unité de la force électrique et de la force magnétique, tandis que la théorie de Maxwell ne présente pas ce point faible. On ne peut guère douter que ces considérations n'aient dès ce moment pesé d'un poids considérable, dans l'esprit de Hertz, en faveur de la théorie de Maxwell, si difficile qu'il lui ait été, comme à tout physicien allemand, d'abandonner des idées habituelles pour se soumettre aux exigences du raisonnement. Pour prendre la voie la plus sûre, il a, comme l'on sait, interprété ses expériences postérieures au point de vue de la théorie de Helmholtz, qui comprend toutes les autres théories comme cas particuliers. Un mémoire paru quelque temps après fournissait une petite contribution à la question, alors discutée de tous côtés, des dimensions des grandeurs électriques et magnétiques.

Malgré les succès obtenus dans la théorie pendant son séjour à Kiel, il était inévitable que Hertz soupirât vers son occupation favorite, l'expérimentation, dont il était privé depuis longtemps. Il s'était installé, dans une dépendance inoccupée de son logement, avec des moyens primitifs, une sorte de laboratoire et allait entreprendre, avec la permission et l'appui du directeur de l'Institut de physique de Kiel, Gustave Karsten, des recherches de thermoélectricité, quand il eut l'honneur d'être appelé par un choix spontané à diriger un Institut, le Polytechnicum de Carlsruhe, où il se rendit immédiatement, au printemps de 1885.

A Carlsruhe il connut l'aimable fille de son collègue le géodésien Doll, Elisabeth, et épousa bientôt celle qui le pleure maintenant avec deux enfants en bas âge. La grande époque de sa vie s'ouvrit alors, marquée par un travail, divisé en une série de mémoires, sur les vibrations électriques, dans lequel il força la nature à des manifestations qu'aucun homme n'avait vues avant lui. On pourrait être porté à se demander quelle est, dans la réussite de cette œuvre, la part de la prévision et de la poursuite logique d'un plan établi et quelle est la part de la rencontre favorable de circonstances extérieures imprévues. Mais, abstraction faite de ce qu'une investigation dans le mystère de ce merveilleux enchaînement d'habileté et de bonheur aurait vite fait de fatiguer même le curieux, la question elle-même est sans intérêt, puisque, autant du

moins qu'on peut dire quelque chose de certain sur ce point, Hertz lui-même y a répondu, dans les remarques dont il a fait précéder son livre sur la propagation de la force électrique. On y voit que, comme toujours dans les travaux de longue durés, les circonstances extérieures ont souvent été favorables, souvent aussi défavorables à l'avancement de l'œuvre. C'est la seconde action qui se manifeste dans les perturbations que provoquaient dans les vibrations électriques à étudier les objets environnants dans la salle d'observation. Au début, ces perturbations ont été un grand obstacle à l'interprétation exacte des observations ; il est extrêmement vraisemblable qu'elles ont été la cause de la seule erreur, vraiment importante, dans laquelle Hertz soit tombé en ce domaine qu'il avait pénétré le premier, à savoir la conséquence que les ondes électriques se propagent moins vite le long des fils que dans l'air libre ; plus tard, au contraire, ces perturbations eurent l'heureux résultat d'amener Hertz à l'idée de produire des ondes stationnaires par réflexion sur un mur, idée qui, dans une salle d'expériences plus grande et plus libre, ne lui serait peut-être pas venue aussi tôt. Ainsi les circonstances extérieures, prises en soi, semblent tantôt s'affaiblir dans leur action, tantôt se renforcer et cela irrégulièrement ; leur somme n'est ni positive ni négative, mais nulle, et c'est l'intelligence qui, sachant tirer parti séparément des termes de cette somme, qui, en donne en quelque sorte, à chacun le signe convenable et obtient ainsi toujours un résultat nettement positif.

Pour pénétrer dans le domaine des phénomènes nouveaux, deux conditions principales étaient à réaliser, d'abord la production de vibrations assez rapides pour que leur longueur d'onde fût commode à mesurer dans l'air — les plus rapides que l'on connût, celles qu'avaient observées Feddersen, donnent encore une longueur d'onde dans l'air qui est de l'ordre de grandeur d'un kilomètre — et ensuite la découverte d'un instrument qui pût servir à l'analyse de ces phénomènes. Ces deux problèmes, Hertz les résolut dans son mémoire sur les vibrations électriques très rapides : le premier, en découvrant qu'une étincelle de décharge éclatant entre deux boules peut, dans certains cas, exciter les vibrations propres très rapides du système composé des sphères et des conducteurs qui peuvent leur être joints — ici, sans qu'il le sût, Wilhelm de Bezold, l'avait, dix-sept ans auparavant, devancé sur un point — le second, en découvrant que le principe de la résonance est aussi applicable à ces vibrations électriques. Son conducteur secondaire accordé pour la résonance devint pour lui l'instrument avec lequel il analysa le champ au voisinage du système vibrant primaire, et l'établissement des propriétés de ce champ aplanit notablement la voie pour tout ce qui suivait. D'abord il chercha à éclaircir la complexité de ces propriétés en considérant une force électrodynamique distincte et une force électrostatique distincte, qui se propagent avec des vitesses différentes ; plus tard il reconnut que cette distinction n'est pas nécessaire, qu'en général elle est impossible et qu'on obtient, avec Maxwell, une explication complète de tous les phénomènes observés, en parlant non plus de force électrostatique et électrodynamique, mais simplement de force électrique. Un phénomène accessoire fortuit, l'influence que l'étincelle primaire exerce sur la production de l'étincelle secondaire, l'engagea pendant quelque temps dans une digression. Il fallait, avant de continuer d'avancer, éclairer la nature de ce phénomène. Ce mémoire, écrit dans le véritable esprit de Faraday, peut, pris en soi, être considéré comme un modèle de l'étude expérimentale d'une nouvelle découverte. Après avoir découvert que ce sont exclusivement les rayons ultraviolets de l'étincelle primaire qui agissent à l'endroit de l'étincelle secondaire, il abandonna l'étude approfondie de ces phénomènes à d'autres travailleurs et reprit la marche en avant dans la grande voie.

Nous nous rappellons tous encore comment, de travail en travail, les faits s'amassaient en

une succession rapide et nos connaissances se développaient. Nous apprîmes que les phénomènes électriques dans les isolants ont aussi une action électrodynamique, que les ondes électrodynamiques qui se propagent dans l'air et celles qui se propagent le long d'un fil interfèrent d'une façon différente en différents points, qu'ainsi on ne peut nullement attribuer aux ondes dans l'air une longueur infinie, c'est-à-dire une vitesse de propagation infinie; nous avons su qu'on peut obtenir des ondes stationnaires par réflexion des ondes électriques dans l'air sur un mur conducteur et mesurer ainsi directement les longueurs d'onde, qu'enfin les ondes électriques se propagent tout à fait à la façon des ondes optiques, obéissant aux lois de la réflexion, de la polarisation, de la réfraction, en un mot qu'on était arrivé à produire réellement les ondes lumineuses avec toutes leurs propriétés physiques, en les agrandissant des millions de fois et que la démonstration de ce fait était fourni par des étincelles minuscules qu'on est quelquefois obligé d'observer à la loupe, pour les apercevoir ! Quel savant, se consacrant à l'étude de la nature, ne penserait encore aujourd'hui au sentiment d'étonnement et d'admiration qui l'envahit, à la première annonce de ces phénomènes, pour la grandeur immense de la nature dont les lois ne font pas de différence entre le grand et le petit et cette puissante aculté d'abstraction de l'esprit humain, que peut seule engendrer la logique la plus rigoureuse jointe à une fantaisie véritablement artistique.

Les physiciens allemands ont manifesté leur reconnaissance à Hertz au congrès de Hedelberg, dans l'automne de 1889, où il fit une conférence de vulgarisation sur les relations entre la lumière et l'électricité. Il comparait alors la théorie de Maxwell à un pont dont l'arche hardie s'élance au-dessus du large gouffre qui sépare le domaine des phénomènes optiques et électromagnétiques des longueurs d'onde moléculaires et cosmiques. Grâce aux vibrations électriques très rapides, continuait-il, on a pu trouver au milieu de cet abîme un nouveau fondement stable sur lequel s'élève maintenant un pilier solidement fondé qui fournira au pont un nouveau soutien. Depuis ce temps, ce pilier a été élevé et élargi par des travaux poussés dans tous les sens, le pont est plus solide et plus fier que jamais; il ne sert plus seulement, comme autrefois, aux seules excursions accidentelles de hardis chercheurs isolés, il peut maintenant supporter le lourd fardeau des recherches exactes qui amènent continuellement leurs trésors d'une rive à l'autre et enrichissent ainsi toutes les deux.

Mais ce ne sont pas les physiciens seuls; tout le monde instruit de ce côté et de l'autre côté de l'Océan s'intéressait à ces recherches. Le nom de Hertz fut bientôt dans toutes les bouches, on fit des conférences sur lui, on écrivit des livres, des sociétés savantes le nommèrent membre ou lui accordèrent des distinctions, des princes lui témoignèrent leur faveur, il resta le même, simple, consciencieux, fidèle ami de ses amis, élève soumis et reconnaissant de ses premiers maîtres; non par calcul habile, mais par un sentiment dans lequel s'unissaient l'élévation de l'intelligence et la pureté du cœur. Sa modestie était l'expression de sa nature, il considérait ses travaux simplement comme le produit nécessaire d'une force intérieure et d'une chose toute naturelle on ne cherche pas à se glorifier. Rien d'étonnant qu'à un pareil esprit l'envie et le dénigrement soient restés étrangers. Si ces années de succès ont peut-être amené un changement dans son extérieur, c'est peut-être la diminution d'une certaine réserve que sa nature foncièrement aristocratique apportait dans les relations et qui, au moment de la maturité complète, fit place à une bienveillance plus accueillante. On se sentait ému et réconforté par sa piété vraiment filiale pour son maître Helmholtz; il la manifestait en toute occasion avec une satisfaction qui témoignait clairement du plaisir qu'il éprouvait à donner une forme personnelle à son enthousiasme pour la

dignité et la certitude de la science qu'il cultivait. Pendant son dernier séjour à Berlin, aux fêtes de Helmholtz, en novembre 1891, prenant la parole au nom des étudiants, pendant le banquet solennel au palais impérial, il exprima encore de vive voix ce sentiment. Mais, dans les questions scientifiques, il ne tenait aucun compte des personnes, il n'y avait pour lui que des faits et des raisons, d'où qu'elles pussent venir. Aux remarques les plus savantes comme les plus naïves, si elles étaient faites sérieusement, il répondait avec la même bienveillance. Une seule méthode de recherche, malheureusement trop fréquente, encore qu'elle puisse être commode et rapide, ne trouvait pas grâce devant lui, c'était le manque de clarté.

En 1889, Hertz fut appelé à la chaire de Clausius à Bonn. Sa nouvelle position lui imposa d'abord les obligations les plus différentes. Dans l'Institut de physique de Bonn, une réorganisation complète était nécessaire, il fallait agrandir les salles, se procurer de nouveaux appareils, régler à nouveau les travaux pratiques des étudiants. Le succès qui couronna son activité est attesté par une série de travaux de valeur qui sortirent de l'Institut à cette époque sous sa direction. Cependant, il trouva encore, au milieu de l'activité de son enseignement, le temps de se consacrer aux recherches scientifiques. Il avait déjà démontré directement, par des expériences spéciales, que ses ondes électriques, dans le cas où elles sont conduites par des fils, ne se propagent pas du tout à l'intérieur du métal, mais exclusivement dans l'air qui entoure les fils ; il put ensuite mettre en évidence, outre les actions électromotrices même, les actions mécaniques de ces ondes. Une nouvelle étude fut consacrée aux rayons de cathode, pour lesquels il constata avec étonnement que de minces couches de métal sont encore transparentes, bien qu'elles absorbent complètement les rayons lumineux, tandis que, d'autre part, des substances transparentes sont absolument impénétrables aux rayons de cathode. Mais il s'occupa surtout de l'édification théorique de la théorie de Maxwell, et des leçons qu'il professa à cette époque sur le sujet entretinrent cette idée. Son but était, à l'opposé de l'exposition propre de Maxwell, d'écarter d'abord de la théorie toutes les notions qui ne sont pas nécessaires pour la description complète des phénomènes physiques, mais qui ne peuvent avoir servi qu'à faciliter l'exposé ou le calcul. C'est ainsi qu'il ne conserva en tout que deux variables : la force électrique et la force magnétique, qui, à chaque instant déterminent complètement l'état électromagnétique d'un élément de volume et dont les variations sont reliées les unes aux autres par certaines équations différentielles dans lesquelles, à part quelques constantes, ne figurent que les dérivées par rapport au temps ou à l'espace. Pour les phénomènes les plus importants dans les corps en repos on obtient ainsi un système simple d'équations. Pour les corps en mouvement, au contraire, se pose en outre la question de savoir si l'état de vitesse de la matière en chaque point est déterminé complètement par les composantes de la vitesse de la matière pondérable, ou si l'on doit *à priori*, attribuer en outre une vitesse spéciale à l'éther lumineux. Des faits nombreux semblent indiquer que c'est bien ainsi que l'éther se comporte ; cependant ces faits sont jusqu'ici trop peu étudiés pour fournir un point d'appui solide à une pareille hypothèse, et Hertz s'est décidé à en faire abstraction complète, et à admettre que le mouvement de l'éther est complètement déterminé par celui de la matière pondérable. Sa vitesse disparaît alors complètement de la théorie et on n'a plus besoin de parler d'éther. Ainsi ces équations constituent un exposé des phénomènes électromagnétiques et optiques qui, pour n'être peut-être pas complet, n'en est pas moins parfaitement cohérent, et plus d'un théoricien trouvera encore des sujets de travaux intéressants en poursuivant, dans chaque voie, l'ensemble des résultats qu'elles contiennent. Il n'y a que pour la classe des phénomènes électrochimiques que la théorie

de Maxwell ne semble pas conserver sa supériorité sur les autres. Hertz n'a guère exploré ce domaine; il n'était pas encore arrivé, comme il me l'écrivit, à une représentation satisfaisante. Ainsi se trouve prouvé une nouvelle fois, ce qu'on avait déjà souvent constaté, qu'on ne peut arriver à représenter un phénomène d'une façon absolument complète que lorsqu'il affecte des dimensions dans lesquelles on peut encore considérer les corps comme continus, tandis que dans les phénomènes du monde moléculaire il reste toujours des questions non résolues.

Ces recherches, et le besoin d'atteindre un point de vue encore plus élevé pour sa conception de la nature, poussèrent son esprit infatigable à s'occuper de nouveau des principes généraux de la mécanique. Dans ce livre qu'il n'a achevé qu'à la fin de l'année dernière, au prix de ses dernières forces corporelles, il parlera bientôt pour la dernière fois aux savants. Mais il ne s'en tenait pas là. Il concevait de nouvelles expériences, cette fois, avec des courants de tension extraordinairement élevée, de sorte que les siens s'inquiétaient déjà du danger qu'elles pouvaient présenter.

Il devait en advenir autrement. Pour la première fois, pendant l'été de 1892, se manifestèrent chez lui, qui avait joui jusque là d'une bonne santé, des phénomènes maladifs particuliers, consistant en une enflure du nez et des douleurs dans l'oreille, propablement en relation avec la carie d'une dent. Le mal fut d'abord traité comme peu dangereux, mais il ne voulut pas se guérir définitivement, les incommodités s'accrurent avec le temps, et finalement une opération derrière l'oreille devint nécessaire, elle conduisit à l'extraction d'un amas de pus qui s'était formé dans la tempe. Il espérait ainsi avoir écarté le mal, mais le poison restait dans le corps, il se reforma de nouveaux amas de pus; de nouvelles opérations à la mâchoire supérieure causèrent chaque fois un adoucissement prolongé, sans pouvoir arrêter la marche de la maladie. Une saison à la Riviera, au printemps, une autre à Reichenhall, à l'automne de l'année dernière, lui rendirent la force physique et morale. De toutes parts ses amis et ses confrères prenaient cordialement part à son état et chaque bonne nouvelle était saluée avec joie. Mais au commencement de l'hiver des bruits inquiétants recommencèrent à circuler: on n'en parlait qu'à contre-cœur et à voix basse dans le cercle de ses amis; on ne voulait pas, on ne pouvait pas croire à la possibilité du malheur. Et cependant ces forces naturelles qu'il avait forcées à se manifester, en pénétrant leurs lois immuables, ont, en vertu de ces mêmes lois inflexibles, exigé sa vie, détruisant sans pitié avec elle toutes les forces qui sommeillaient encore dans son cerveau. Le 7 décembre, il fut contraint d'interrompre les leçons qu'il avait jusque là continuées en déployant la plus grande énergie; il passa les dernières semaines en proie à des souffrances toujours croissantes et devenues indicibles, toujours en pleine conscience, jusqu'à ce qu'enfin le premier jour de l'année nouvelle le délivrât de ses maux. Les médecins attribuèrent la cause de la mort à la septicémie.

L'œuvre de sa vie reste maintenant interrompu; il n'y ajoutera plus lui-même aucun résultat. La science continuera à avancer sans lui; ce qu'il lui aurait peut-être encore été donné de découvrir, d'autres — il n'y a pas de doute – le découvriront tôt ou tard. Mais aucun de ceux qui travailleront ces sujets ne pourra se soustraire à son influence: innombrables comme les fruits de son activité sont les germes qu'il a déposés dans ses écrits et qui, dans un sol propice, pourront se développer en production nouvelles. Qu'on le prononce ou qu'on le taise, le nom de Hertz sera présent l'un des premiers, aussi longtemps que les vibrations électriques seront observées par des hommes. Pour nous, membres de la Société de Physique, nous nous réjouirons de l'éclat de ce nom et nous y prendrons une part propre, car il était un des nôtres (1).

C. R.

(1) *Lu le 16 février 1894, à la Société de physique de Berlin, par Max Planck.*

CHRONIQUE

L'industrie électrique en France

Paris. — Le rapport de M. Caumeau au Conseil municipal déclare justifiées les plaintes des habitants de différents quartiers de Paris relatives à l'insuffisance de l'éclairage public.

La création de voies nouvelles, la construction de nombreux édifices municipaux ont apporté dans le service de l'éclairage de nouveaux éléments de dépenses et ont dès lors diminué les ressources nécessaires pour l'amélioration de l'éclairage ancien. Or, il est, parmi les services généraux, des services qui n'ont jamais été suffisamment dotés, et l'éclairage compte parmi ces services oubliés et pauvres. Il y a encore à Paris des voies périphériques éclairées à l'huile comme au moyen-âge!

« En 1900, dit le rapporteur, Paris conviera les nations au couronnement des travaux industriels et scientifiques du dix-neuvième siècle. Trop légitime et trop naturelle est la préoccupation de faire grand et de montrer Paris non seulement ce qu'il est aujourd'hui, mais ce qu'il devrait être, ce qu'il sera demain si nous voulons réparer l'effet des négligences qui nous ont été imposées par de dures difficultés budgétaires.

« Si nous examinons les propositions des membres du conseil et de l'administration pour l'amélioration de l'éclairage du gaz, propositions entièrement justifiées, nous constatons que pour les seuls projets de première et deuxième urgence, une somme de 1,416,000 francs serait indispensable, alors que nos disponibilités pour 1894-1895 atteignent péniblement la somme de 113,000 francs.

« Pour ce qui est de l'amélioration et de l'extension de l'éclairage électrique, nous avons à notre disposition pour 1894-1895 une somme de 2,000 francs; 1,000 francs pour le plan de campagne de 1894, et 1,000 francs portés pour le même objet à l'article 32, chapitre XVI du projet de budget de 1895.

« Votre rapporteur s'est efforcé de réaliser quelques économies sur certains crédits qui lui ont paru trop élevés.

« Ces économies, il les a reportées à l'article 32, « Amélioration de l'éclairage électrique », et à l'article 38, « Amélioration de l'éclairage au gaz »

« Ces économies atteindont, si vous suivez votre rapporteur dans la voie qu'il a cru devoir suivre, le chiffre de 100,000 francs. »

Emettant l'avis que si le Conseil ne prend d'énergiques mesures, la situation actuelle ne pourra que s'aggraver, le rapporteur propose au Conseil d'adopter un plan qui permettrait de consacrer 400,000 francs par an à l'amélioration des éclairages au gaz et électrique. En y comprenant les 150,000 francs du budget ordinaire, c'est une somme de 3,300,000 francs dont on disposerait pour les six années qui vont précéder l'Exposition de 1900.

Annecy. — Création d'un tramway de Thones à Sessel, par Annecy. — Le Conseil général de la Haute-Savoie a décidé de concéder l'établissement et l'exploitation d'un tramway à traction mécanique entre Thones et Seyssel, par Annecy.

Il fait appel aux personnes qui désireraient concourir pour l'obtention de cette concession, en les invitant à adresser leurs demandes à la Préfecture d'Annecy, avant le 31 mars 1895, terme de rigueur.

Les intéressés trouveront, soit dans les bureaux de M. l'Ingénieur en chef du département de la Haute-Savoie, à Annecy, avenue du Pamelan, soit dans ceux de la Préfecture, le cahier des charges de la concession ainsi que tous les renseignements dont ils pourraient avoir besoin.

(*Bulletin international de l'électricité*).

Bordeaux. — Gaz et électricité. — La Compagnie du gaz de Bordeaux avait entrepris l'éclairage par l'électricité du Grand-Théâtre de cette ville. La chose avait été décidée en vertu d'une délibération de l'assemblée générale des actionnaires votée à la majorité du capital social. Un actionnaire — il y a des grincheux partout — crut devoir demander au tribunal de commerce de la Seine d'annuler cette résolution comme antistatutaire et comportant une transformation de l'essence même de la Société, qui n'aurait pu être valablement décidée que par l'unanimité des actionnaires. Il soutenait donc qu'il y avait lieu d'obliger la Société à se renfermer dans l'exploitation exclusive de l'éclairage et du chauffage par le gaz; qu'en conséquence, il devait lui être fait défense de continuer l'exploitation de l'électricité et que les frais faits pour l'installation de

la lumière électrique devaient être mis à la charge des administrateurs.

Le tribunal de commerce de la Seine a jugé qu'une compagnie d'éclairage et de chauffage par le gaz, qui entreprend l'éclairage d'un local par l'électricité en la fabricant au moyen de moteurs à gaz, n'opère pas une transformation de son exploitation originaire, mais utilise simplement un nouveau mode d'emploi du produit qui est l'objet même de la société. Et, à supposer même qu'une telle opération constitue une transformation de son exploitation, la compagnie resterait libre de l'entreprendre sans violer ses statuts, alors que l'un des éléments mêmes de ces statuts est un cahier des charges aux termes duquel la municipalité s'est réservé le droit d'autoriser, pendant la durée de la concession, des essais d'éclairage et de chauffage *par tous les systèmes qui pourraient se produire*, de sorte que réserve est ainsi implicitement faite au profit de la compagnie de se livrer à toute exploitation d'éclairage ou de chauffage, qui aurait pour but de faire échec à la concurrence qu'une telle autorisation, accordée à des tiers, ne manquerait pas de susciter.

Cours d'électricité industrielle. — Le cours d'électricité industrielle ouvert l'an dernier près la Faculté des sciences de Bordeaux par M. Piouchon, sous le patronage de la Société des Amis de l'Université, sera continué cette année par M. Gossart.

La Société des Amis de l'Université, désireuse d'augmenter encore les ressources que l'on peut déjà trouver à Bordeaux, a considéré comme utile l'annexion à ce cours d'un laboratoire d'essais électriques et plus spécialement d'un laboratoire de mesures et d'étalonnage d'appareils.

Un tel enseignement, indispensable aujourd'hui, a déjà donné de brillants résultats dans des villes comme Paris, Lyon, Grenoble, Dijon, etc.

Bourgoin. — Pour étudier la demande de concession de l'éclairage de la ville de Bourgoin à l'électricité par la compagnie régionale, une délégation du conseil municipal va se rendre à Belleville-sur-Saône et à Beaujeu pour juger par elle-même le système d'éclairage de cette société.

Caen. — Nous avons annoncé que le canal de Caen va être prochainement éclairé à l'électricité. Il est également question de ce mode d'éclairage pour le théâtre. Une commission du Conseil municipal, saisie d'un avant-projet qui lui a été remis par la Société d'électricité de cette ville, en a adopté les dispositions et demande qu'on lui soumette un devis définitif.

Combourg. — Un contrat vient d'être passé entre la ville de Combourg et M. Corvaisier, tanneur de la localité, pour l'éclairage à l'électricité, qui doit être installé pour le 24 février prochain.

Evian. — Un ingénieur de Vevey a fait des offres à la municipalité d'Evian pour éclairer cette ville à l'électricité. Celle-ci serait fournie par une usine hydraulique installée à St-Gingolph, sur la rivière la Morge.

Langogne (Lozère). — D'après le ***Bulletin international de l'électricité***, cette petite ville de 4000 habitants vient enfin de donner la concession de l'éclairage électrique à M. Berbigier, propriétaire d'usines à gaz. Voilà plus de six ans que la question était à l'ordre du jour. La concession est accordée pour 40 années, au bout desquelles toute l'installation reviendra à la Ville. Une chute d'eau d'environ 30 mètres, située à six kilomètres de Langogne, pourra fournir au moins cent chevaux. La digue future captera tout à la fois l'Allier, le Langourou, la rivière de Pradelles, la Ponteyre, le ruisseau de Saint-Etienne-de-Vigan et une foule de petits ruisseaux, à sec il est vrai en été, mais torrents impétueux une partie de l'année. L'éclairage sera distribué à la fois à Langogne et au village de Pradelles; mais le but est surtout de distribuer de l'énergie tout le jour à diverses industries. M. Berbigier s'est réservé dans le contrat cinq jours par an pour les réparations à son usine. Le manque de lumière par imprévu, en dehors des cinq jours en question. sera payé à la Ville à raison de 0 fr. 30 par lampe et par heure. Le concessionnaire est tenu de faire profiter la ville de Lagogne de toutes les découvertes de la science pendant la durée de la concession et cela à ses frais.

Voici le tarif de l'éclairage :

Lanternes municipales : 20 francs par an par lampe de 16 bougies.

Eclairage particulier :

Lampe de	5 bougies	......Fr.	1.15	par mois
—	10 —	....	2.30	—
—	16 —	....	3.50	—

l'éclairage devant fonctionner toute la nuit pour la Ville et les particuliers.

L'éclairage municipal, mairie, écoles, etc., sera tarifé 20 o/o au-dessous du prix payé par les particuliers.

Les travaux ne commenceront sans doute pas avant le printemps prochain, car cette partie du Gévaudan est une véritable Sibérie en hiver; il est même probable qu'il sera nécessaire d'adjoindre un moteur à vapeur pendant les gelées.

Lyon. — La traction électrique est substituée sur la ligne de Lyon à Saint-Pons et à Vernissieux à la traction par locomotives sans foyer du système Francq principalement parce que l'exploitation de cette ligne exige un service intensif de trains légers à court intervalle, alors que l'installation à vapeur avait été prévue pour un service de trains à long intervalle qui semblait répondre, au début, aux exigences de l'installation.

La transformation est opérée par la compagnie Thomson-Houston.

Montluçon. — Un traité vient d'être conclu entre la municipalité et la Compagnie d'éclairage; le prix du gaz est fixé à 20 centimes le mètre cube pour les particuliers, 10 centimes pour la ville et 15 centimes pour les moteurs.

Tous les procès existants entre le gaz, la ville et la Société électrique sont annulés.

L'électricité sera maintenue et le prix de cet éclairage sera fixé sur la moyenne des prix payés dans les quatre villes voisines de Montluçon.

La durée du traité sera, au choix de la Ville, de 30 ans ou de 40 ans. Dans ce dernier cas, la Ville deviendrait propriétaires des diverses usines (gaz et électricité) à l'expiration du traité.

Roquefort. — « Un fil ténu de platine (*sic*), quelques centaines de mètres de câble, l'eau de l'Estampon et un (*sic*) dynamo, presque de poche, ont suffi à la métamorphose d'une petite cité de 1500 habitants; de lugubre, la nuit y est devenue féerique. »

On voit que l'enthousiasme ne manque pas au *Patriote landais* rendant compte de l'inauguration de l'éclairage électrique à Roquefort.

Les rues sont éclairées par 50 lampes de seize bougies. L'usine qui fournit la force motrice est le moulin de Cousseilhat situé à 1,200 mètres de Roquefort. Le courant capté actionne une turbide d'une puissance suffisante pour alimenter 250 lampes, chiffre qui avec les abonnements privés, sera probablement dépassé.

Le concessionnaire est M. Groc, ingénieur à Bazas.

Coups de foudre remarquables. — Les journaux du Midi de la France signalent des coups de fourdre singuliers, observés pendant la période orageuse qui a marqué la première moitié de janvier.

Un orage épouvantable a éclaté sur Châteauneuf-les-Martigues avec grêle et tonnerre. La foudre est tombée sur les poteaux du télégraphe, en a brisé un au ras du sol, a suivi les fils, (tout en entamant plusieurs poteaux), est entrée dans le bureau et, au lieu de se perdre à la terre, a paru se retourner subitement et s'en est allée éclater sur la place de la Mairie où trois mulets ont été retournés la tête à la queue, par le choc. Il n'y a eu aucun accident.

Le même jour, à Cannes, le réseau d'éclairage a été frappé. La foudre a pénétré en suivant les fils, dans deux magasins, mais elle n'a causé que des dégâts insignifiants.

Sur la côte Sud surtout les effets ont été remarquables.

A Fontan, les éclairs et le tonnerre n'ont pas discontinué, pendant qu'une chute abondante de neige ployait ou brisait les oliviers.

A Utelle, tandis que la neige et le grésil alternaient, la foudre a frappé trois fois le clocher.

Au fort du Mont Chauve, foudroyé dans les mêmes conditions, le choc en retour a laissé des soldats paralysés pendant plusieurs heures.

A Moulinet, neige, grêle, éclairs et tonnerres faisaient rage à la fois.

Tous ces faits paraissent confirmer la théorie moderne qui attribue les manifestations de l'électricité atmosphérique, à une condensation rapide de la vapeur d'eau contenue dans l'espace.

Recherches sur l'électricité atmosphérique. — Dans notre numéro du 12 janvier, nous signalions l'intérêt particulier que les savants allemands attachent à la connaissance de la distribution de l'électricité dans l'atmosphère. Cette étude n'est pas poursuivie exclusivement de l'autre côté du Rhin. Si elle a fait depuis longtemps l'objet des

recherches des plus célèbres météorologistes étrangers, elle n'est pas délaissée en France.

Nous apprenons en effet qu'un fonctionnaire des télégraphes français a obtenu le concours du Département de la Marine pour des essais aérostatiques qui seront poursuivis surtout en mer loin des replis de terrain qui, d'après la théorie du regretté professeur Colladon, le savant physicien génevois, influent d'une façon toute particulière sur la distribution de l'électricité dans l'atmosphère. Notre collaborateur, M. Marcillac reprenant, sur un nouveau plan, ses expériences aérostatiques, espère recueillir dans les ascensions faites au large de toute terre, des données nouvelles, en raison du caractère même du milieu sous-jacent. M. le lieutenant de vaisseau Terrin, directeur du parc aérostatique maritime de Lagoubran, a été désigné pour la mise en œuvre de tout le matériel nécessaire, de façon à ce que les essais soient poursuivis avec un aérostat bien conditionné, capable de rendre des services, et non avec une enveloppe *culottée* comme les ballons de la plupart des aéronautes forains. Tous nos compliments au service de la Marine pour sa généreuse coopération à une œuvre scientifique de haut intérêt.

Communications télégraphiques avec l'Extrême-Orient. — La continuation des hostilités entre la Chine et le Japon et l'intérêt avec lequel les grandes puissances européennes suivent les événements militaires en Extrême-Orient, attirent toujours l'attention sur ces contrées. Nous avons signalé déjà dans une étude récente, le rôle important réservé dans l'avenir aux lignes télégraphiques qui relient la Corée et la Chine à l'Europe par la Mandchourie, la Sibérie et la Russie. Tandis que les travaux du transsibérien se poursuivent, les constructions de lignes électriques ne chôment pas non plus.

La Chine, trouvant insuffisantes les sections qui passent par Huntchun et Wladivostock, ainsi que par Hélampo et Blagowestschensk, a songé à relier Pékin à Kiakhta au Sud-Sud-Est du lac Baïkal.

Cette nouvelle voie, comparé à celle de Wladivostock abrégera le parcours à suivre, de plus de 4000 kilomètres. Elle permettra une transmission beaucoup plus rapide et surtout moins onéreuse, des télégrammes de ou pour la Chine, le Japon. etc. Elle complétera le réseau chinois qui a fait d'étonnants progrès dans une période des plus restreintes.

En effet, la première ligne du Céleste-Empire a été posée entre Sanghaï et Tientsin en 1882. Depuis cette époque, le réseau a pris un développement de 30 000 kilomètres et il va s'accroître incessamment de 1800 kilomètres par la mise en service de la ligne de Pékin-Kiakhta.

Comme, en raison du réveil forcé que le Japon vient de lui faire subir, l'Empire chinois s'efforcera sans doute de reconquérir son prestige perdu, il faut s'attendre à bref délai, à quelque période de grande activité de la part de ce peuple ingénieux chez lequel la télégraphie n'a pas dit son dernier mot.

Locomotive électrique de 1.200 chevaux. — La General Electric Company a terminé dans ses ateliers de Schenectady les trucks pour la locomotive qu'elle a construite pour le Baltimore and Ohio Railroad pour la traversée du tunnel de Belt line, à Baltimore.

Quand la locomotive sera complète, son poids sera d'au moins 100 tonnes et elle disposera d'une puissance de 1.200 chevaux.

Sa vitesse pourra atteindre 60 kilomètres par heure et même au-delà s'il est nécessaire. Pour le trafic en question, le maximum sera probablement de 48 kilomètres par heure.

La locomotive sera montée sur quatre trucks portant chacun un moteur de 300 chevaux. Ces moteurs sont à accouplement direct sans engrenages et supportés sur des ressorts fixés au bâti même de la locomotive.

Les armatures sont montées sur arbres creux à l'intérieur desquels passent les axes; des accouplements élastiques les réunissent aux roues en laissant une grande liberté de mouvement dans toutes les directions.

La locomotive est munie de freins à airs; l'air est comprimé par une pompe mue par un moteur électrique auxiliaire.

Le Gérant : L. DENNERY.

Imprimerie ALCAN-LEVY, 24, rue Chauchat, Paris

2e Année — Samedi 2 Février 1895 — No 5

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

REVUE DE L'ÉLECTRICITE

3, RUE RACINE, PARIS

Directeur P. H. Ledeboer, Docteur ès-sciences

LES PROJECTEURS ÉLECTRIQUES

ET LEUR EMPLOI A LA GUERRE [1]

Observations sur le matériel employé. — Il est inutile de revenir sur la description de ce matériel ; elle a été donnée en détail dans des notices et instructions spéciales.

Les appareils employés pour les manœuvres dont il vient d'être rendu compte étaient, pour la plupart, des types très anciens datant des débuts même de l'industrie électrique. Leurs qualités ne peuvent être mises en doute ; elles ressortent de ce que, aujourd'hui encore, il est possible d'en tirer un excellent parti pour des manœuvres. Mais en temps de guerre on aura à demander aux appareils photo-électriques une facilité d'emploi, une durée et une sécurité de fonctionnement que le matériel actuel ne comporte pas.

L'expérience acquise dans le maniement de l'outillage photo-électrique trace nettement la voie à suivre pour obtenir les améliorations considérables et les progrès de l'industrie électrique permettent d'atteindre sûrement le but à l'heure actuelle.

L'organe, signalé maintes fois comme le plus défectueux des machines en usage, est le moteur Brotherhood qui, par suite de sa consommation exagérée de vapeur, oblige à employer des chaudières lourdes et cependant beaucoup trop poussées. De plus, les conditions de fonctionnement de ce moteur exposent à de fréquents incidents.

Enfin les dispositions d'ensemble des appareils, fixées alors que leurs conditions d'emploi n'étaient pas établies par l'expérience, ne répondent pas aux rôles bien distincts que le matériel photo-électrique doit jouer pour le service en campagne.

Il n'y a pas lieu d'insister sur les petites imperfections de détail des premiers appareils ; il y a été remédié dans la plupart des cas.

En résumé, ce matériel dans le bon état d'entretien où il est maintenu, au Mont-Valérien, convient bien pour l'instruction. A ce point de vue, les incidents auxquels il est sujet donnent lieu à des exercices utiles, mais il ne présente pas les qualités aujourd'hui indispensables et parfaitement réalisables pour le matériel de guerre.

[1] *L'Éclairage électrique* du 26 janvier 1895.

Remarques sur les manœuvres exécutées. — Dans les diverses séances qui ont eu lieu au fort même, les résultats d'éclairement obtenus ont confirmé ceux constatés bien des fois déjà dans des conditions analogues.

Il n'y a pas à insister sur l'importance de l'éclairage électrique des abords d'une place

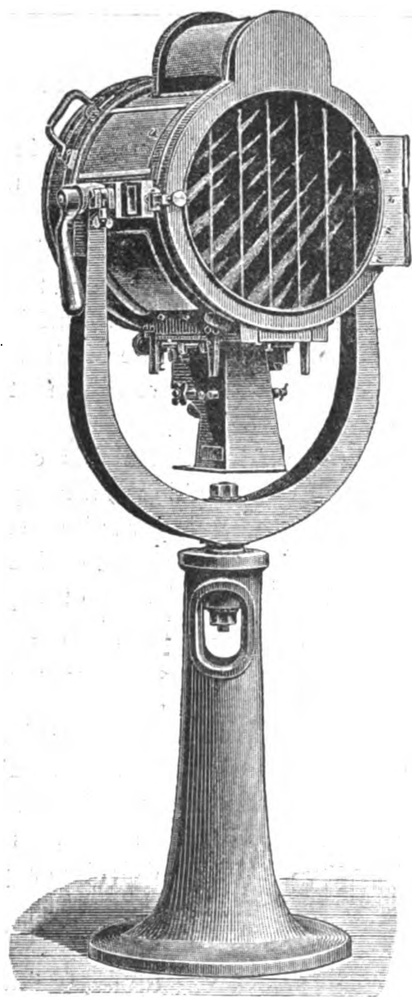


Fig. 5. — Projecteur Mangin de 0^m40, sur fourche et colonne (1889).

forte et on n'a plus à démontrer l'efficacité des projecteurs électriques pour ce service.

Enfin, dans ces manœuvres, on était frappé des inconvénients de l'emploi d'une locomobile comme source d'électricité dans un fort. Une machine de ce genre, difficile à protéger dans les abris, reste inutilement exposée aux coups de l'ennemi. Si elle n'est pas atteinte, sa surveillance se ressentira sûrement de cette situation. Enfin, la construction, forcément légère, d'une locomobile convient peu pour une machine qui doit assurer pendant une longue période un service de nuit ininterrompu.

Les manœuvres exécutées à l'extérieur ont prouvé que le matériel actuellement en usage ne convenait pas pour le service en campagne, service pour lequel les appareils photo-électriques peuvent être de la plus grande utilité, comme nous l'avons montré précédemment,



Fig. 6. — Projecteur Mangin de 0^m30 sur fourche (1889).

mais à condition d'avoir une grande mobilité et une extrême rapidité de mise en fonction.

En opérant de nuit, comme il a été fait dans des conditions aussi voisines de celles qui se présentent en campagne, on se rend compte de la nécessité absolue de supprimer complètement tout montage ou démontage d'appareils pour la mise en service et de réduire au minimum les opérations préliminaires. A cet égard, l'emploi de signaux optiques pour la transmission des ordres au canonnier qui manœuvre le projecteur serait préférable à celui du téléphone.

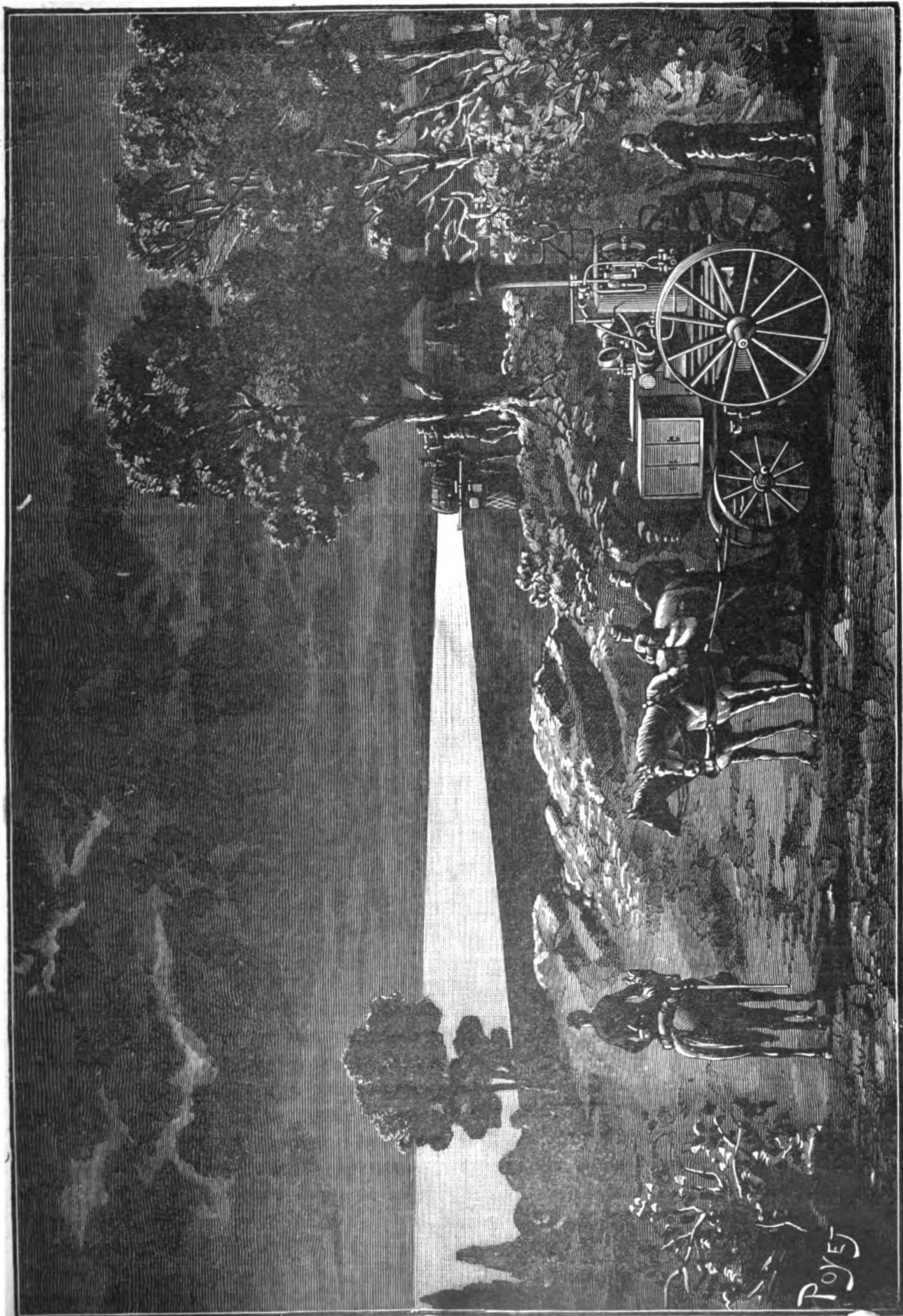


Fig. 7. — Service en campagne.

Enfin, pour atteindre de bons résultats, un entraînement spécial du personnel et des chevaux pour les marches et les manœuvres de nuit serait nécessaire.

Toutefois il faut bien noter que les manœuvres exécutées ont permis d'atteindre un résultat déjà satisfaisant en modifiant simplement l'agencement et le mode d'emploi du matériel.

Il convient encore de noter les impressions particulières produites sur les observateurs par l'éclairage d'un paysage au moyen d'un projecteur. Ces impressions, qui ont toujours été constatées, ont en effet une extrême importance en raison des opinions qu'elles peuvent faire naître et des enseignements qu'elles donnent.

L'observateur qui opère pour la première fois se trouve tout d'abord complètement désorienté; il ne voit rien ou presque rien des objets éclairés.

Puis, aussitôt qu'il commence à distinguer, il commet les plus grossières erreurs sur les distances et éprouve, en général, un réel désappointement de ne pouvoir percevoir nettement des détails que l'éloignement ne permettrait pas de voir en plein jour.

Ce n'est qu'après des exercices assez nombreux que l'œil se forme à ce genre d'observations. Un observateur bien entraîné arrive à des résultats absolument remarquables et dont il est impossible de se faire une idée sans une pratique sérieuse. C'est certainement là ce qui explique la divergence des avis sur l'efficacité des appareils photo-électriques.

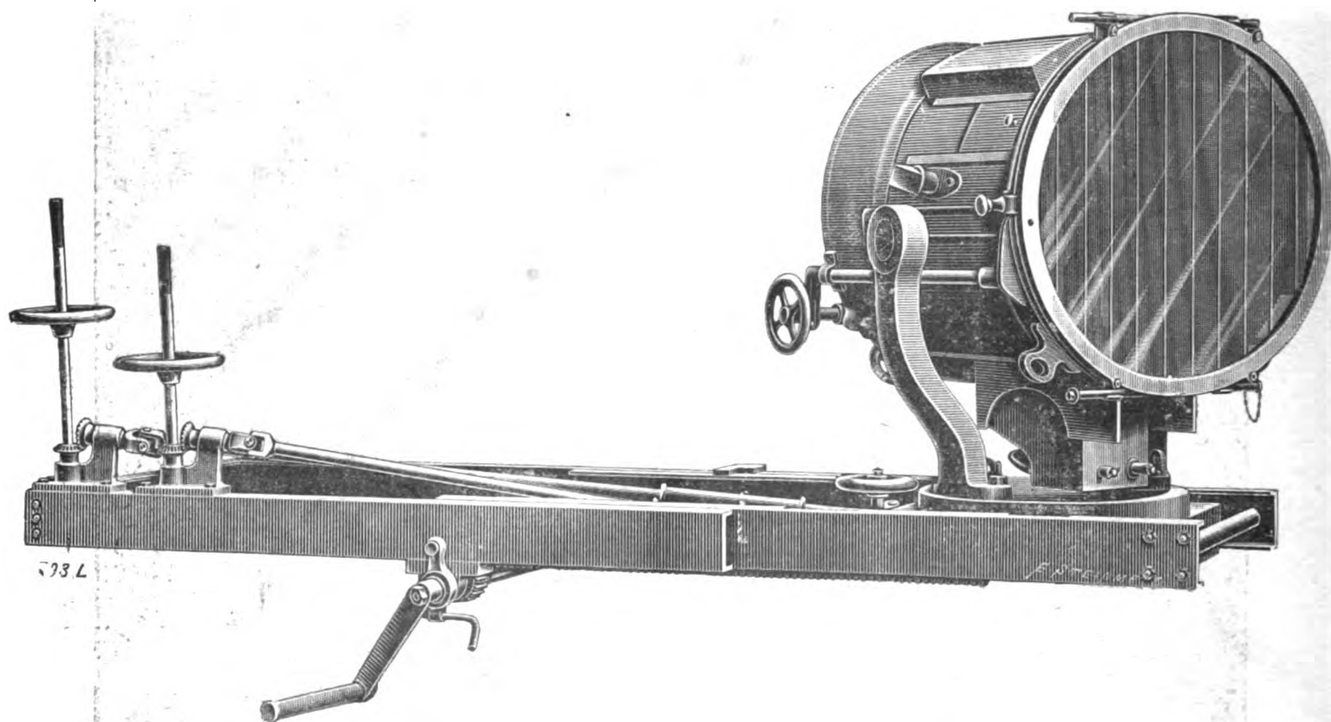


Fig. 8. — Projecteur Mangin de 0m60, type de sabard (1890).

Nous ne reviendrons pas ici sur les diverses expériences faites en France et à l'étranger; un fait remarquable, dont on comprend aisément l'importance, c'est l'effet d'éblouissement produit sur les hommes qu'atteint le faisceau lumineux. Sous l'influence de cette vive lumière, il devient impossible à un tireur de viser, à un canonnier de pointer, et même à un torpilleur de gouverner.

Cet effet d'aveuglement explique l'extrême

difficulté qu'éprouvent des tireurs à atteindre un projecteur. En janvier 1892, des tirs de nuit furent faits au plateau de Satory avec un projecteur de faible puissance du système du lieutenant Astier de Villatte. Malgré le peu d'intensité du faisceau lumineux, 45 coups tirés sur le projecteur à 400 mètres n'ont donné aucun résultat. Avec 30 coups à 300 mètres, il en a été de même. Enfin, après avoir tiré 100 coups encore à 200 mètres, on a constaté qu'une seule balle avait frôlé le bord du miroir dans le dernier tir. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point à propos de l'utilisation des projecteurs aux manœuvres de Vaujours.

L'essai d'un projecteur commandé à distance, du type si apprécié dans la marine, a fait ressortir les avantages que donnerait ce système pour la défense des places. Ces avantages sont de deux sortes : tout d'abord, ils détruisent l'objection faite aux projecteurs d'indiquer à l'ennemi la position des troupes ; on peut avoir un service de sûreté très efficace sans exposer les hommes inutilement; de plus, cette disposition permet à celui même qui manie l'appareil de voir plus nettement le but; nous avons expliqué en effet que, pour bien distinguer les objets éclairés, il faut être à une certaine distance du faisceau.

La commande mécanique à distance ne suffit évidemment pas.

Nous allons donner une description sommaire du projecteur muni de ses appareils de commande à distance par l'électricité.

Il se compose de trois parties distinctes :

1° Le projecteur, avec son mécanisme intérieur produisant les deux mouvements d'inclinaison et les deux mouvements d'orientation ;

2° Le poste de commande à distance ;

3° Le câble à six conducteurs reliant le poste de commande au projecteur.

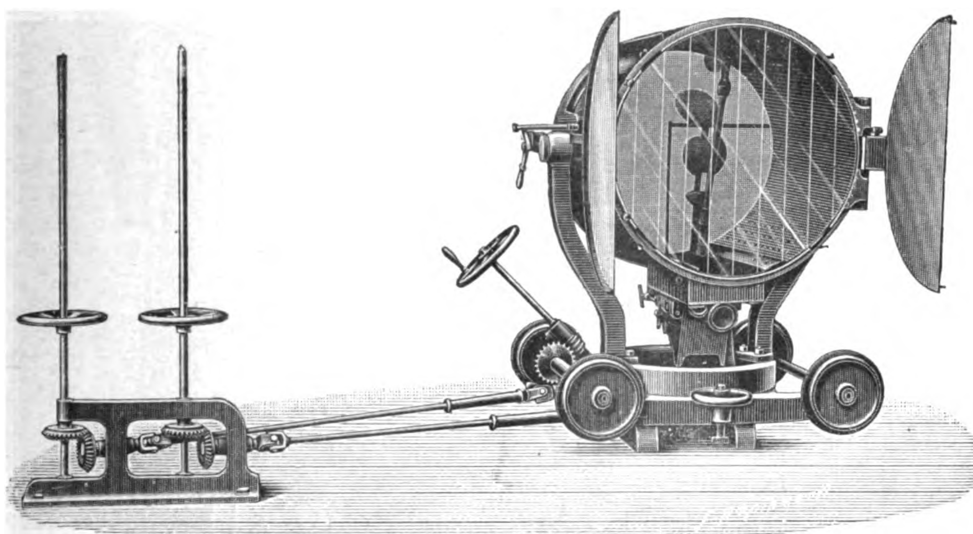


Fig. 9. — Projecteur Mangin de 0m90, avec volets d'occultation commandés mécaniquement à distance (1890)

Projecteur. — Description et fonctionnement.—Le mécanisme, contenu dans le socle, permet quatre mouvements différents du faisceau lumineux; de droite à gauche, de gauche à droite, de haut en bas et de bas en haut.

On atteint ce résultat par les dispositions suivantes :

Le socle contient un moteur électrique à double induit; les deux induits sont absolument indépendants l'un de l'autre et produisent : l'un le mouvement d'orientation, l'autre le mouvement d'inclinaison du projecteur.

Mouvements d'orientation. — Sur l'arbre d'une des bobines est calé un pignon denté, engrenant sur une grande roue dentée. Une vis hélicoïdale, montée sur le même arbre que

cette roue, entraine, par l'intermédiaire de roues dentées, le plateau qui supporte le projecteur. Un embrayage, commandé par un levier extérieur, permet, s'il est nécessaire, de faire la manœuvre à la main.

Mouvements d'inclinaison. — Ces mouvements s'obtiennent par l'élévation et l'abaissement de deux leviers, fixés en arrière de l'axe de suspension du projecteur. Ces leviers sont articulés à un arbre fileté qu'actionne la deuxième bobine par l'intermédiaire de deux roues dentées et d'une vis tangente.

Le mouvement de rotation du projecteur autour de son axe vertical peut, sans inconvénient, se prolonger longtemps; il n'en est pas de même du mouvement d'inclinaison dans le plan vertical. Il faut arrêter ce mouvement, d'une façon automatique, quand le projecteur a atteint le degré d'inclinaison maximum dans le plan vertical, c'est-à-dire 30° en dessous et 20° en dessus de l'horizontal. Cet arrêt automatique est réalisé par un dispositif, contenu dans le socle, et tel que le courant est coupé quand l'inclinaison maximum est atteinte.

Poste de commande à distance. — Le poste de commande se compose d'une caisse rectangulaire portant le commutateur d'arrêt et de mise en marche, les deux commutateurs d'orientation et d'inclinaison, et renfermant les résistances nécessaires pour obtenir des vitesses différentes dans les mouvements.

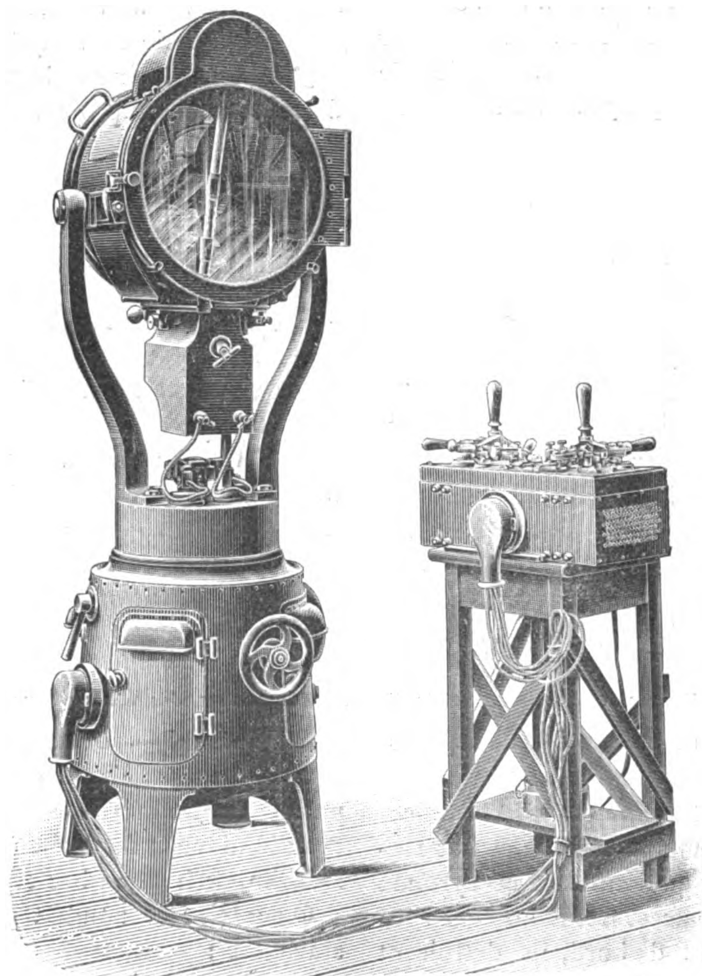


Fig. 10. — Projecteur Mangin de 0m,40, commandé à distance par l'électricité (1890)

On peut changer à volonté le sens de rota-

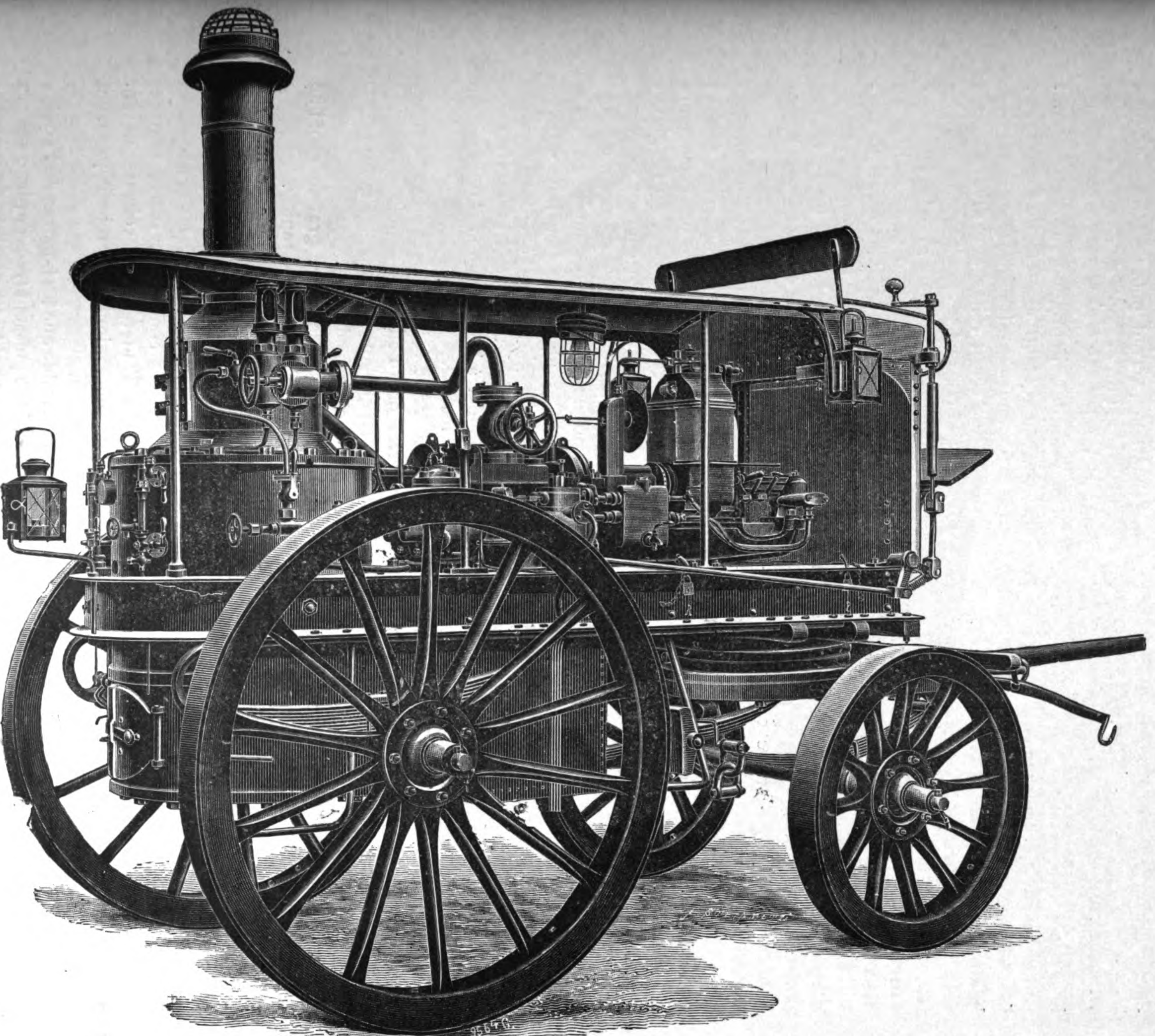


Fig. 11. — Locomobile de campagne avec turbo-moteur et chaudière (armées étrangères 1889).

tion ou d'inclinaison; la vitesse varie également suivant les résistances que l'on fait traverser au courant.

Si l'on désire obtenir des mouvements du faisceau de très petite amplitude, on donne à la poignée des secousses légères et répétées.

Il en résulte des déplacements angulaires du faisceau très faibles, très répétés, qui équivalent à un déplacement continu très lent.

Le manipulateur et le projecteur sont reliés par un câble à six conducteurs, répérés à leurs extrémités, et qui se fixent dans les bornes des deux appareils. Ce câble est uniquement réservé à la commande à distance; celui de la lampe doit être installé à part comme pour un projecteur ordinaire.

Après cette digression, revenons aux expériences faites au Mont-Valérien. Les conclusions du rapport du lieutenant Bochet sont nettes et précises, et méritent l'attention à tous les points de vue.

Tout d'abord, dit M. Bochet, une distinction bien nette doit être faite entre le matériel employé à la défense et celui destiné au service en campagne. Pour les deux cas, les conditions à remplir sont absolument différentes; le matériel ne doit donc pas être identique.

Pour la défense d'un fort, il importe que l'éclairage puisse fonctionner chaque nuit, sans interruption; que le matériel soit abrité le mieux possible, en raison de la concentration du feu de l'ennemi sur la surface restreinte de l'ouvrage; que le personnel soit réduit au minimum; enfin, il est parfaitement inutile que la source d'électricité, destinée à assurer l'éclairage des abords de la forteresse, soit mobile. Il est en effet très aisé d'amener le courant aux emplacements réservés aux projecteurs, au moyen d'une canalisation dont la longueur sera toujours faible.

Le service à assurer présente la plus grande analogie avec celui de l'éclairage extérieur d'un navire de guerre; il est logique de suivre les mêmes principes. Il conviendrait, en conséquence, d'employer des machines fixes établies dans un abri en un point du fort aussi central que possible.

Un abri de dimensions restreintes suffit pour installer une usine puissante. L'installation du fort St-Michel, à Toul, pour l'éclairage de tous les locaux, est un exemple de ce qu'il est possible de faire.

Une usine de ce genre, pourvue d'un matériel fixe, largement établi, serait facile à conduire; un seul homme pourrait suffire pour ce service.

Cette usine serait reliée aux divers postes des projecteurs par des canalisations complétement abritées sur la plus grande longueur possible. Dans les parties où la protection ne pourrait être complète, le mieux serait de laisser les lignes apparentes. De simples câbles, posés sur le sol, conviendraient bien; ils seraient moins exposés aux éclats que des lignes tendues en l'air sur isolateurs.

Ces canalisations aboutiraient soit directement aux projecteurs, si ces appareils étaient installés à postes fixes comme les projecteurs cuirassés des forts de la Meuse en Belgique, soit à de simples prises de courant convenablement réparties dans le cas d'emploi de projecteurs mobiles montés sur affûts.

Enfin l'usine électrique pourrait être en même temps employée très avantageusement à l'éclairage intérieur du fort et servir aussi au chauffage et à la ventilation si nécessaires des divers locaux.

Pour rendre de réels services en campagne, le matériel photo-électrique doit permettre d'éclairer en quelques instants les points désignés par le commandement.

Il doit par suite être d'une grande mobilité et d'une mise en activité très rapide.

Pour être suffisamment mobile, le matériel électrique de campagne doit être composé de voitures munies de roues de grands diamètres à voies égales pour les deux trains et disposées pour être attelées comme les autres voitures de l'artillerie. Toutefois ces voitures devant suivre presque toujours les routes pourront être suspendues.

Il serait désirable que les hommes de l'équipe photo-électrique puissent trouver place sur ces véhicules, pour qu'il soit possible de marcher aux allures rapides sur les bons chemins.

Pour le service d'un projecteur de 60 ou 75 centimètres, il faudrait trois voitures :

1° La locomobile comprenant la chaudière, le moteur à vapeur et la dynamo;

2° Une voiture légère portant le projecteur installé à demeure. Cette voiture pourrait porter en outre les câbles; on emploie actuellement un projecteur non fixé à demeure, qu'on installe souvent sur un socle en treillis (fig. 13).

3° Une voiture portant l'eau, le combustible et les outils.

Ce matériel pourrait être établi actuellement de manière à avoir une grande puissance et une sécurité parfaite de fonctionnement tout en restant très léger.

La substitution de moteurs compound aux Brotherhood suffirait pour accroître notablement la puissance des appareils tout en rendant leur conduite beaucoup plus aisée et leur entretien à la portée de tous les mécaniciens.

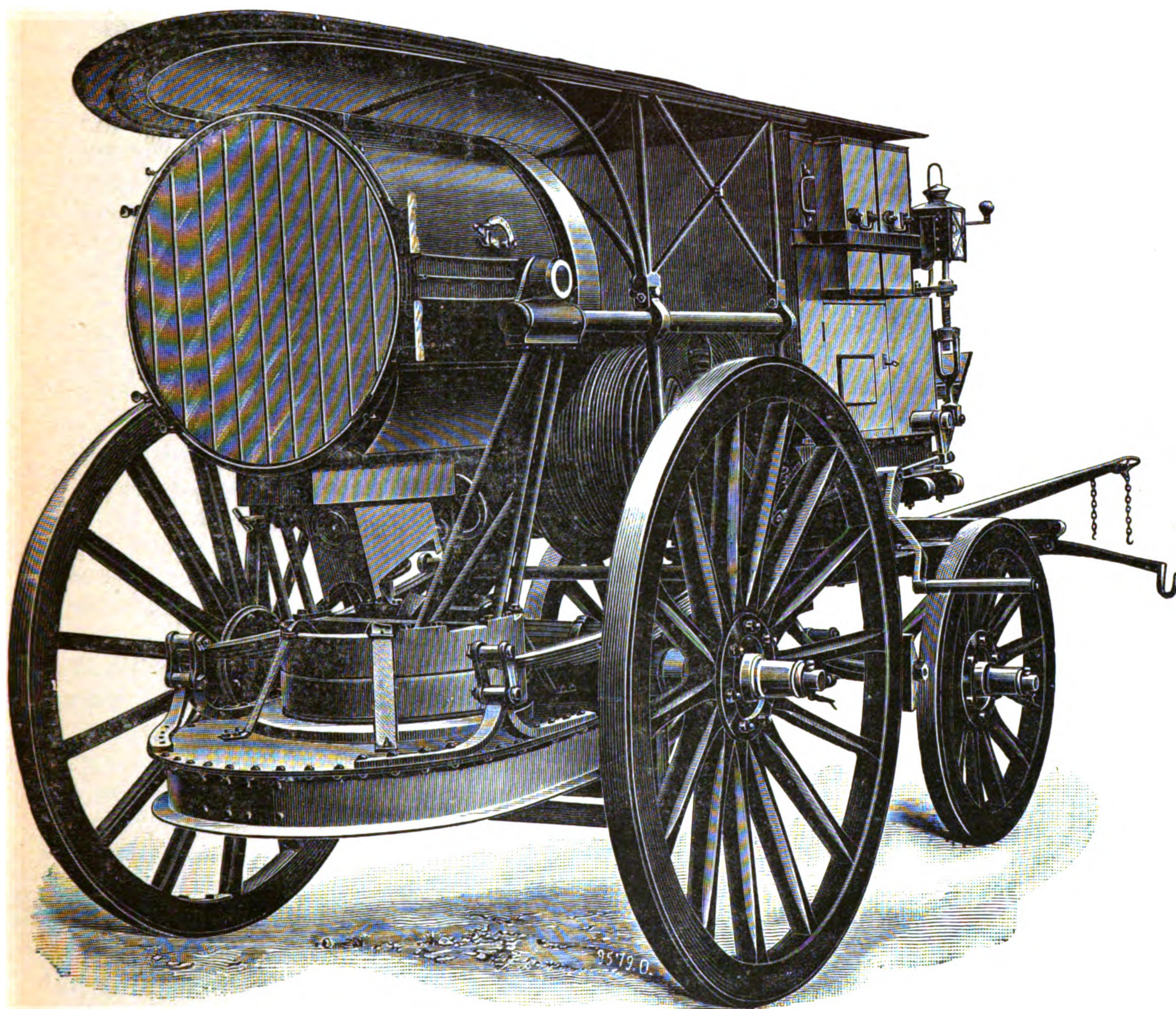


Fig. 12. — Projecteur Mangin de 0m75 sur chariot (armées étrangères 1889)

En effet, tandis que les moteurs Brotherhood consomment environ 60 kilos de vapeur par cheval électrique de 736 watts produit par la dynamo, les ensembles à moteurs compound,

analogues à ceux en usage dans la marine, ne consomment pas plus de 18 kilos en fonctionnant à échappement libre.

Au point de vue du poids et du régime de marche, les avantages du moteur compound ne sont pas moins sensibles. Un ensemble moteur Brotherhood et dynamo monté sur socle de locomobile de 2400 becs tourne à plus de 900 tours et pèse 960 kilos pour une production de 4000 watts.

Un ensemble moteur pilon compound et dynamo, employé à l'éclairage électrique du train de l'empereur de Russie, tourne à 600 tours seulement, pèse 935 kilos et peut produire 8000 watts.

En tenant compte de la réduction de la consommation de vapeur, qui s'abaisse de plus des deux tiers, on voit qu'il est possible de gagner sur le poids des chaudières, tout en leur maintenant, comme il est nécessaire, une marge beaucoup plus grande que celle qui existe actuellement.

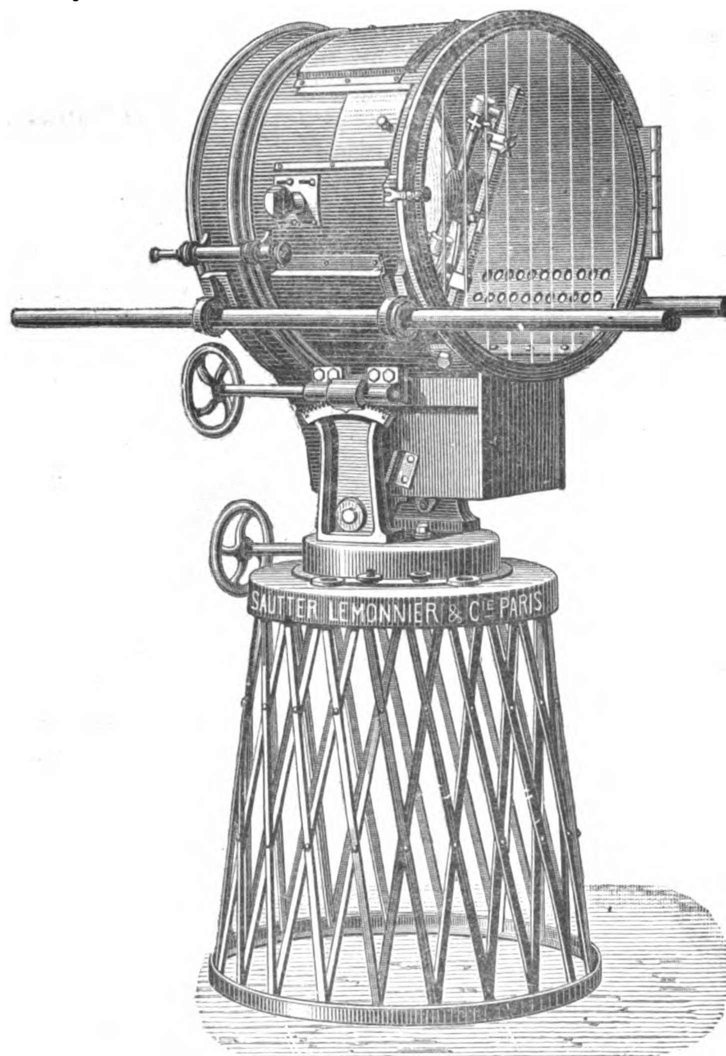


Fig. 13. — Projecteur Mangin de 0m60, socle treillis (1880).

Les chaudières tubulaires en usage sont très bonnes; des améliorations de détail peuvent leur être apportées pour mieux assurer l'alimentation et faciliter la mise en pression ainsi que la circulation en feu sur les routes.

Le type de dynamo le plus convenable serait la dynamo compound fonctionnant à 80 volts environ. Il serait utile de munir les machines

d'un voltmètre et d'un ampèremètre en outre du tachymètre, afin de permettre le contrôle du courant.

Pour les projecteurs, le seul perfectionnement désirable est leur allègement. Il pourra facilement être obtenu et rendra facile l'emploi des appareils de grands diamètres, soit 75 centimètres pour l'appareil de campagne, ce qui présente le plus grand intérêt au point de vue des résultats d'éclairement.

Pour assurer la bonne conduite et le bon entretien du matériel, il est de toute nécessité de le confier à un personnel spécial suffisamment au courant.

En règle générale une équipe photo-électrique devrait comprendre au moins un bon mécanicien et un électricien.

Les développements de l'industrie électrique rendront le recrutement de ce personnel de plus en plus facile.

Nous arrivons maintenant à l'utilisation des projecteurs aux manœuvres de Vaujours. Ces intéressantes opérations, dont tout le monde a admiré l'habile organisation par le Gouverneur militaire de Paris, n'avaient pas pour but d'étudier spécialement l'emploi des projections électriques. Ceux qui étaient chargés de ce service n'ont donc pas eu de problèmes intéressants à résoudre au point de vue tactique, et cependant les expériences faites ont été fructueuses.

Elles ont permis de fixer nettement les imperfections du matériel et de constater les importants résultats qu'on pourrait obtenir.

Nos lecteurs voudront bien se reporter aux comptes rendus des manœuvres de forteresse publiés dans la *Revue du Cercle militaire.*

Pendant la période de préparation, du 6 au 12 septembre, les projecteurs n'avaient pas d'action au point de vue de la guerre de siège. On n'aurait pu les utiliser que comme auxiliaires pour le service en campagne, dans les conditions que nous avons précédemment étudiées. Cette période a été employée à étudier le fonctionnement des appareils et à vérifier leur marche.

Le service photo-électrique de la défense avait à sa disposition :

Un appareil de 2500 becs avec chaudière Trépardoux et projecteur de 0 m. 75 commandé à main, provenant de la place du Mont-Valérien.

Un appareil de 600 becs avec une chaudière Trépardoux et projecteur de 0 m. 60 commandé à main, de la même provenance.

Un appareil de 2500 becs, constitué par une locomobile, munie d'une chaudière Field, venant de la place de Belfort, et par un projecteur de 0 m. 75 du type de la marine avec lampe automatique et commande électrique à distance du pointage et de l'occultation. Cet appareil avait été mis à la disposition de l'artillerie pour la durée des manœuvres par la maison Sautter-Harlé.

Le personnel comprenait trois équipes, formées chacune d'un maréchal des logis, chef d'équipe, d'un chauffeur mécanicien, d'un chauffeur suppléant, d'un électricien et de trois aides.

Le corps d'attaque avait à sa disposition un seul projecteur de 0 m. 90, avec commande à distance.

Le 6 septembre, dès l'arrivée du personnel au fort, les deux appareils de 2500 becs ont été mis en position.

Le projecteur commandé à distance au Sud de la batterie Sud du fort, près de la route qui contourne cette batterie.

Le projecteur commandé à main, à l'observatoire Nord, au-dessus des plâtrières.

Le soir même, le projecteur commandé à distance est mis en marche ; il fonctionne d'une manière très satisfaisante et permet une observation facile de la plaine et des villages de Courtry et du Pin, malgré un temps pluvieux défavorable. A partir de ce jours, il a fonctionné normalement toutes les nuits, une demi-heure par heure environ.

Il en a été de même, à partir du 9 septembre, pour le grand appareil commandé à main : la visibilité des objectifs et la surveillance des

abords de la position ont toujours été satisfaisantes.

Le 10 septembre, pour parer à une opération possible du corps d'attaque, la surveillance est plus serrée; tous les environs sont fouillés par le faisceau lumineux avec le plus grand soin. Le 12 au soir, pour compléter la surveillance, le projecteur de 600 becs est placé sur la traverse située au milieu de l'ouvrage réunissant le fort central à la batterie Sud. On peut ainsi surveiller de plus près les abords immédiats.

Le 13, cet appareil est placé dans une position reconnue plus favorable, sur le parapet. Mais comme il se trouverait exposé au feu de l'ennemi, on l'établit définitivement sur une plate-forme en arrière du parapet. La protection est ainsi obtenue sans nuire à la facilité d'observation.

Le 14, le projecteur Nord, de 0 m. 75, commandé à main, devant surveiller le point dit « la Couronne », est descendu dans la plaine, sur le talus de la plâtrière, entre la route de Metz et l'Observatoire où il était primitivement établi. Attelé à 6 heures, il est installé et fonctionne deux heures après, en même temps que les deux autres projecteurs.

On aperçoit, du côté de Villevaudé, le faisceau du projecteur de l'attaque, mais il ne donne pas de lumière sensible sur les positions de la défense.

A 10 heures, on voit nettement des troupes déboucher de la lisière des bois à l'Est du fort. Les tirailleurs de la défense se replient dans les tranchées.

Dès qu'ils sont abrités, le projecteur de 600 becs, installé en arrière du parapet, est mis en marche et éclaire vivement un détachement ennemi qui, profitant de l'obscurité, s'était formé sur la route.

Les tirailleurs de la défense ouvrent le feu sur cette colonne qui, par suite de l'effet d'éblouissement, ne peut riposter et cherche à rentrer dans l'obscurité en suivant la lisière du bois.

Le faisceau lumineux suit pas à pas la colonne et la force à rentrer dans le bois. Une deuxième tentative de formation en avant du bois est entravée par la lumière du projecteur. Les travailleurs de l'attaque se mettent néanmoins à l'ouvrage pour l'exécution de la parallèle; mais ils sont visibles du fort comme en plein jour et peuvent être visés commodément par les tirailleurs de la défense. Ils sont obligés d'établir des gabionnades pour se protéger le mieux possible.

Le 15 septembre, pour éclairer les travaux d'approche de l'attaque, on essaye d'installer une glace plane sur la traverse Sud de la batterie Sud, de manière à réfléchir le faisceau du projecteur commandé à distance. Cette glace, de 1 m. 50 de long sur 1 m. de haut, ne peut, malgré ses dimensions, réfléchir toute la lumière émise par le projecteur de 0 m. 75. La lumière réfléchie est faible et n'a pas même la puissance du petit projecteur de 600 becs.

Les deux autres projecteurs donnent d'excellents résultats. Tous les terrains en avant du fort, depuis la « Couronne » jusqu'au Pin, sont bien éclairés.

Les moindres mouvements des travailleurs de l'attaque sont visibles et il est aisé de surveiller l'avancement de la parallèle.

Le lendemain, on a encore pu constater l'utilité des projections dans une opération de contre-attaque exécutée par la défense.

Le projecteur Sud éclairait le Pin et la plaine environnante.

Le projecteur Nord et celui de 600 becs, du parapet, éclairent les travaux d'approche. Grâce à l'éclairement des tranchées, on a pu constater de suite que ces tranchées étaient insuffisamment occupées, et qu'il était possible d'y pénétrer.

On avait eu le soin de régler le mouvement des troupes de façon à les laisser dans l'ombre, les positions ennemies étant seules éclairées.

La nuit suivante, on a eu l'occasion d'expérimenter l'effet produit par des occultations fréquentes et rapides du faisceau. On a pu constater que le travail dans les tranchées était devenu extrêmement pénible, par suite de la fatigue résultant de continuelles scintillations.

Ces manœuvres, malgré le peu d'occasions qu'on a données aux projecteurs de se faire valoir, ont permis de constater les desiderata du matériel actuel et ont conduit à des conclusions analogues à celles tirées des expériences du Mont-Valérien, dont nous avons parlé précédemment.

Les locomobiles employées, de fabrication ancienne, datant des débuts de l'industrie électrique, ne permettent pas d'assurer un service continu. Une marche trop prolongée entraînerait, en effet, une usure et un échauffement dangereux des organes en mouvement. Au bout d'un certain temps de marche, l'encrassement des grilles empêcherait de maintenir la pression convenable.

C'est pour cette raison qu'on a dû limiter la marche à une durée de 1/2 heure par heure, comme nous l'avons dit plus haut.

Les étincelles qui se produisent aux balais des dynamos d'ancien type dégradent rapidement le collecteur, ce qui exige l'entretien journalier de cet organe et expose à de sérieuses avaries.

Cet inconvénient n'existe pas dans les machines modernes bien établies.

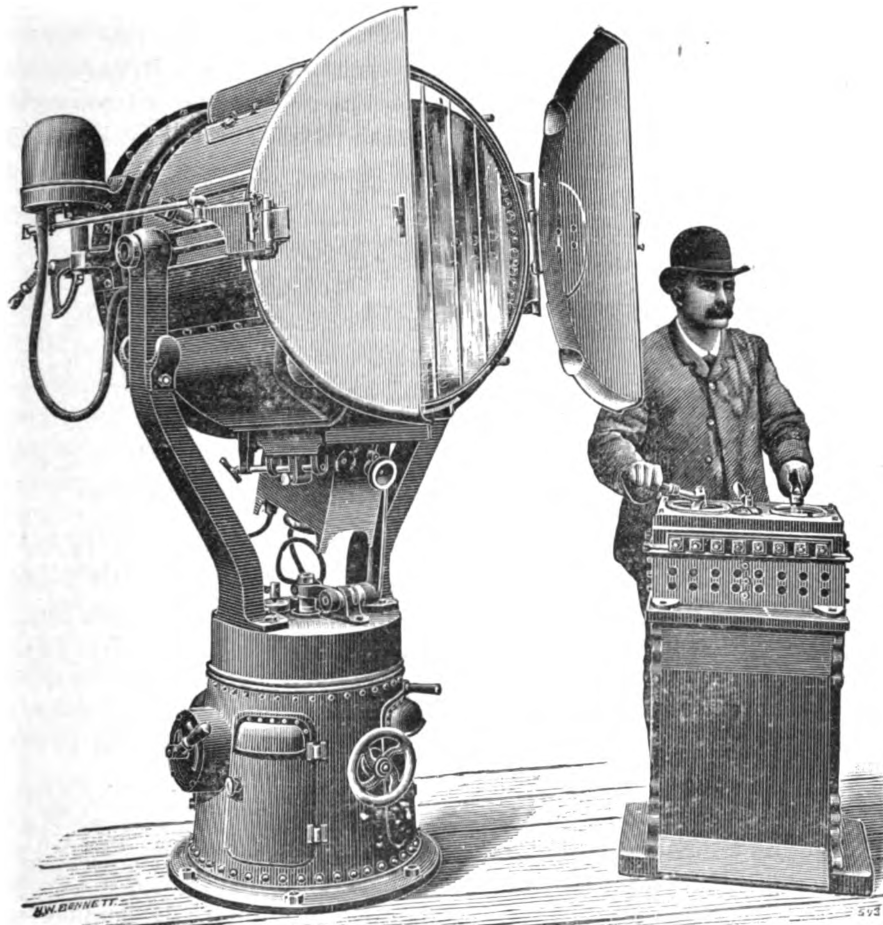


Fig. 14. — Projecteur Mangin de $0^{m}75$, avec volets d'occultation commandés à distance par l'électricité (1891).

Les conditions défectueuses de fonctionnement du moteur Brotherhood, employé sur les locomobiles de l'artillerie, entraînent une usure excessive et une dépense considérable de vapeur. Le feu doit être constamment activé, ce qui dégrade les chaudières.

La consommation des machines a été, pour celles de 2500 becs, de 600 kg. d'eau et

120 kg de charbon par heure; pour celles de 600 becs, elle a été de 300 kg d'eau et 60 kg de charbon.

Le matériel employé a cependant permis d'obtenir des résultats très satisfaisants au point de vue de la surveillance du terrain. Le projecteur Sud permettait de voir les maisons de Villevaudé et de Montjay et de suivre, jusqu'à 3000 mètres, des mouvements de troupes. A Montjay, distant de 5000 mètres, on pouvait distinguer les maisons, mais il aurait été impossible de voir du personnel. Ces distances correspondent d'ailleurs à celles de visibilité pendant le jour.

Les terrains éclairés par l'appareil Nord étaient mieux vus par suite de la moindre distance des objectifs. Quant à l'appareil mobile, il en a été fait usage pour des distances de 800 mètres environ; dans ces conditions, les moindres mouvements du personnel sont perceptibles.

En faisant varier la position du foyer par rapport au miroir, on peut régler la divergence du faisceau et par suite, la surface éclairée, mais il est évident que c'est aux dépens de l'intensité.

Le minimum de divergence et partant le maximum de puissance sont obtenus quand le cratère du charbon positif, qui est, comme on le sait, la vraie source lumineuse, est placé exactement au foyer du miroir.

Dans ce cas, la divergence n'est que de 1°,5 à 2°.

Quant au procédé de réflexion du faisceau par une glace plane, on conçoit aisément qu'il entraîne une perte considérable de lumière.

Ce procédé peut cependant être utile dans certains cas, par exemple lorsque l'on veut, à l'aide d'un projecteur abrité, surveiller les travaux d'approche de l'ennemi, et que la forme du terrain ne permet pas une exploration directe.

Au point de vue du temps, les projections n'ont été que rarement gênées par le brouillard; la clarté de la lune a souvent rendu l'observation plus difficile.

Ces expériences ont permis de constater, une fois de plus, l'excellence du procédé de commande à distance, que nous avons décrit précédemment. L'observateur doit être éloigné du faisceau, afin d'éviter la gêne que cause, pour la vue, l'interposition, entre l'observateur et le but, des poussières et vésicules de l'atmosphère éclairées par le faisceau lumineux.

D'autre part, si l'observateur ne dirige pas lui-même l'appareil, il faut tout un système de transmission qui peut être une cause d'erreurs, et qui ne permet pas, en tous cas, de suivre un but mobile, ce qui est le cas général.

Aux manœuvres de Vaujours, l'appareil très perfectionné, que la maison Sautter-Harlé avait mis à la disposition de l'artillerie, n'a pas donné tous les résultats qu'il est susceptible de produire à cause de la machine employée pour fournir le courant. Cette machine ne convenait nullement pour ce service et elle n'a pu être utilisée qu'en usant d'un artifice de connexion déjà pratiqué dans des circonstances analogues au Mont-Valérien.

On objecte aussi quelquefois le poids considérable des câbles à transporter pour la commande aux grandes distances, mais, grâce à un ingénieux système de relais, on peut employer des câbles de petits diamètres. C'est ce qui a été réalisé par les projecteurs de 1 m. 50 de diamètre, construits par la maison Sautter pour la défense des côtes.

Quoi qu'il en soit, à l'aide de l'appareil dont nous avons donné la description sommaire, l'observateur peut à volonté diriger le faisceau lumineux, donner aux déplacements du projecteur, soit en hauteur, soit en direction, la vitesse voulue, et produire, au moment précis où il le juge utile, de rapides occultations.

A ce propos, on ne saurait trop insister sur l'effet produit par les projections sur le personnel, effet qu'il a été aisé de constater à Vaujours.

Les tirailleurs qui recevaient le jet de lumière épaulaient dans toutes les directions, et pour

les travailleurs il devenait impossible de faire une besogne utile.

Voilà un nouveau mode d'emploi du projecteur auquel on n'aurait pas songé, et qui en fait une arme offensive dont l'importance est loin d'être négligeable.

Il est probable que l'emploi des projecteurs dans la guerre de campagne amènerait à bien d'autres applications, et serait probablement la cause de changements importants dans la tactique.

La commande de 144 appareils de campagne de grande puissance, faite par l'Allemagne à la maison Schuckert, montre bien quelle importance on attache à la question chez nos voisins.

En France, nous ne possédons pas actuellement un matériel suffisamment mobile. Nos locomobiles sont difficiles à utiliser pour un service continu, tant à cause des moteurs Brotherhood que des dynamos employés, mais notre industrie est en mesure de fournir un matériel répondant à tous les besoins. Le projecteur Mangin ne laisse rien à désirer ; quant aux moteurs et aux dynamos, les conclusions des expériences du Mont-Valérien montrent nettement ce qu'il y a à faire de ce côté. Nous espérons que l'attention ne tardera pas à se porter sur ce point.

F. P.

EXPERIENCES FAITES

SUR DES CHAUDIÈRES A VAPEUR A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCFORT

A l'exposition de Francfort, en 1891, on avait nommé un comité de spécialistes qui, sur la demande des exposants, examinaient le fonctionnement des objets exposés. Le résultat de ces études n'a été publié qu'au printemps de 1894. Le compte rendu des travaux de la commission des chaudières, composée de MM. Brauer, Lewicki, Leybold et Gyssling, a été rédigé par ce dernier. Dans une conférence faite à la Société des ingénieurs allemands, M. O. Knaudt a indiqué les principaux résultats des expériences faites ; nous en donnons dans ce qui suit une succinte analyse.

La maison E. Willmann, de Dortruund et la fabrique de chaudières tubulaires Dürr et C[ie], de Rating, avaient exposé deux chaudières à tubes bouilleurs avec chambre antérieure cloisonnée et tubes fermés à l'extrémité postérieure. La maison Hermann et Schimmelbusch, de Kaiserslautern, avait exposé une chaudière à tubes verticaux, système Hohlfeld. Les chaudières à chambres d'eau antérieure et postérieure étaient représentées par deux exemplaires : la maison Gœhrig et Leuchs avait exposé une chaudière dans laquelle les tuyaux montaient d'arrière en avant ; la fabrique de machines de Nuremberg avait adopté la construction opposée. L'usine de tôles laminées Schulz-Knaudt, d'Essen avait exposé une de ses chaudières à tuyaux latéraux et à tube calorifère, munie une première fois d'une grille plane ordinaire, et une autre fois d'une garniture en matière réfractaire d'après le brevet Rinne.

Les essais ont été faits conformément aux principes fixés par la Société des ingénieurs allemands et par l'Association des Sociétés de surveillance des chaudières. Chaque chaudière a été essayée deux fois après qu'un essai préliminaire avait fait reconnaître que tout était en ordre. Malheureusement, il n'était pas possible de conduire la vapeur dans une machine ; on se bornait à la diriger dans la conduite générale de l'exposition. L'humidité de la vapeur, d'après l'analyse chimique, était si faible qu'on pouvait la négliger complètement. Le personnel avait été fourni par les exposants eux-mêmes ; il était excellent. L'évaluation des quantités de charbon et d'eau était accompagnée d'analyses et de déterminations de température des gaz de combution recueillis en deux points différents. Le charbon développait environ 7600 calories par kilogr. Il provenait du bassin de la Wesphalie rhénane. Chaque kilogramme de vapeur engendré correspondait à 640 calories.

La quantité de vapeur produite par mètre carré de surface de chauffe et par heure varie entre 13 et 16 kilogrammes pour les chaudières à bouilleurs; elle a atteint 25 kilogrammes pour la chaudière à tubes calorifères sans garniture réfractaire et 17 kil. 5 avec cette disposition.

On n'a pu déterminer si la tension de la vapeur était constante pour les diverses chaudières, ce qui est d'autant plus regrettable que cette condition est importante.

Pour avoir des estimations comparatives sur la constitution de la vapeur, il n'y a qu'à calculer le nombre de kilogrammes de vapeur dégagés par heure, par mètre cube d'espace d'eau et par mètre carré de surface de niveau. L'espace de vapeur a, comme on le sait, beaucoup moins d'importance. Cela s'explique immédiatement si l'on représente combien est grand le volume occupé par la vapeur produite par heure et par mètre cube d'espace de vapeur. S'il y a 300 kilos de produits, ce qui a eu lieu plusieurs fois à Francfort, on a pour 10 atmosphères de pression un espace de 54 mètres cubes; la vapeur varie donc presque à chaque minute. Dans une chaudière de 10 atmosphères de tension, 1 mètre cube de vapeur contient 3500 calories, tandis qu'un mètre cube d'espace d'eau en recèle 175 000, par conséquent 50 fois plus que l'espace de vapeur. Incontestablement la production de vapeur sera la meilleure là où les nombres mentionnés plus haut pour l'espace d'eau et la surface de niveau sont les plus bas.

Toutes les chaudières à tubes à eau donnent des résultats près de deux fois aussi défavorables que les chaudières à tubes calorifères, bien que celles-ci aient fourni jusqu'à 25 kilogrammes de vapeur par heure, par mètre carré de surface de chauffe. Par conséquent la constitution de la vapeur produite par la chaudière à bouilleurs est de faible valeur et ne peut se comparer avec celle d'une chaudière à grand volume d'eau comme la chaudière à tubes calorifères.

Il est important de connaître le rendement, c'est-à-dire combien pour 100 des calories théoriques du charbon brut ont passé dans la vapeur formée. La chaudière à tubes calorifères est celle qui s'est le mieux comportée; elle a donné 79 o/o; la même chaudière sans garniture réfractaire a donné 73,5 o/o; la chaudière à bouilleurs a donné entre 73,5 et 62 o/o.

On sait que, pour apprécier une chaudière, il faut toujours considérer simultanément l'utilisation du charbon et la production en kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Ce n'est qu'ainsi qu'on peut se faire une idée de la valeur d'un générateur. La meilleure chaudière à tubes d'eau est, pour la production de vapeur, la chaudière Dürr : elle donne 16 kilos et ne le cède que de 1 kilo 5 à la chaudière à tubes calorifères avec garniture. Pour l'utilisation du combustible, elle donne 70 o/o, de sorte qu'elle est inférieure de 1/7 à la chaudière tubulaire avec garniture. Par rapport à la chaudière tubulaire simple, elle présente une infériorité de 9 kilos, d'une part, et de 3 o/o seulement, d'autre part. La chaudière à bouilleurs, de Nuremberg, donne presque la même utilisation du charbon que la chaudière à tube calorifères sans garniture, mais pour la production de vapeur elle est de 11 kilos en infériorité. On voit donc que les chaudières à tubes à eau sont, à tous égards, inférieures aux chaudières à tubes calorifères.

En théorie, pour brûler 1 kilogramme de charbon, il faut 8,5 mètres cubes d'air. Par rapport à ce volume pris pour unité, les chaudières tubulaires consomment 1,25, les meilleures chaudières à bouilleurs exigent 1,6 et les plus mauvaises 1,8.

La supériorité de combustion pour la chaudière à tubes calorifères tient en première ligne au revêtement en matériaux réfractaires qui mesure exactement l'air pour la combustion secondaire. Quant à l'infériorité constatée pour les chaudières à tubes bouilleurs, elle provient incontestablement de la construction, car les formes de grilles étaient convenables pour le combustible et le service était

bien fait ; les résidus de foyer contenaient peu de matière combustible, les pertes variaient entre 1 et 4 0/0 de la valeur de chauffage. Il est probable qu'il n'est pas possible de fermer bien exactement les portes qui, dans les chaudières à tubes bouilleurs, servent à retirer la cendre entraînée par le courant d'air.

Les hautes pressions peuvent être employées avec d'autres modes de construction.

La chaudière tubulaire, de Francfort, qui avait 2 m. 2 de diamètre, avait été construite pour 12 atmosphères de pression, les chaudières de navires et de locomotives fonctionnent par milliers, à 10 et 12 atmosphères de pression, sans emploi de tubes à eau.

Prétendrait-on que les chaudières à tubes bouilleurs sont trop récentes pour avoir reçu tous les perfectionnements dont elles sont susceptibles, ce serait admettre une inexactitude. Ces chaudières étaient représentées en grand nombre à l'Exposition de Düsseldorf en 1880, et les expériences faites alors concordent avec celles de Francfort. A Düsseldorf il n'y avait ni chaudières à double chambre d'eau antérieure et postérieure, ni chaudières à tubes calorifères.

M. Vetter défend les chaudières attaquées D'après lui, l'insuccès des chaudières tubulaires à l'Exposition de Francfort tient surtout à ce que le rapport entre la surface de grille et la surface de chauffe était défectueux Pour la chaudière à tubes calorifères, ce rapport est de $\frac{1}{41,7}$, pour la chaudière Dürr $\frac{1}{51}$ et pour les autres chaudières il est sensiblement le même.

La réponse de M. Knaudt sur ce point est que les fabricants devaient connaître et ont dû choisir le rapport le plus favorable.

M. Vetter ajoute que l'on ne pouvait pas faire de comparaison immédiate entre les quantités de chaleur produites, attendu que les quantités de charbon consommées par mètre carré de surface de chauffe et par heure étaient bien plus faibles pour les chaudières tubulaires à bouilleurs que pour la chaudière à tuyaux à flamme.

Il explique enfin les différences par l'excès d'air pour les chambres à tubes calorifères, le volume d'air ayant varié pour celles-ci entre 1,76 et 2,6 de la quantité théorique, tandis que pour les chaudières à tuyaux bouilleurs, il était 1,58 de la quantité théorique.

M. Knaudt pense que ces résultats sont inévitables, avec les chaudières tubulaires, si l'on ne veut pas que la combustion soit incomplète Au moment où les gaz montent du combustible et passent entre les tuxaux d'eau, il se produit dans ces gaz un refroidissement si intense que l'activité de la combustion en est diminuée. L'excès d'air est donc nécessaire, et dès lors la combustion se produit à basse température, ce qui est désavantageux.

J. Reyval.

PREMIÈRE RÉUNION ANNUELLE
DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTROCHIMIQUE ALLEMANDE DE BERLIN (1).

Nous avons résumé les résultats des expériences faites par M. W. Borchers dans le but de chercher à utiliser l'énergie chimique du charbon sous forme d'électricité. Jusqu'à présent, les résultats les plus favorables ont été obtenus non avec du charbon solide, mais avec les produits de sa distillation ou avec de l'oxyde de carbone pur. Dans ce dernier cas, la pile est constituée par deux électrodes de charbon plongeant dans une solution de chlorure cuivreux. Du gaz oxyde de carbone est absorbé par l'électrolyte autour d'une des électrodes, et de l'oxygène se dissout autour de l'autre électrode ; la combinaison des deux gaz donne lieu à un courant électrique que l'on recueille aux deux charbons. Dans d'autres essais, l'anode, c'est-à-dire l'électrode autour de laquelle s'absorbe l'oxyde de carbone, est formée d'un tube de cuivre.

En ce qui concerne la pile à gaz à anode de cuivre, un auteur, M. C.-J. Reed, vient con-

(1) Voir l'*Eclairage électrique* des 17 et 24 novembre 1894.

tester, dans l'*Electrical World*, l'exactitude des conclusions de M. Borchers, et prétend que le courant engendré dans cette pile est dû à la corrosion de l'anode de cuivre elle même et que les deux gaz ne jouent qu'un rôle insignifiant. A cette objection, M. Borchers avait répondu par avance en faisant remarquer que ses anodes de cuivre ne diminuent pas de poids. Si, en outre, M. Reed fait observer que l'action de l'oxygène sur le chlorure cuivreux consiste à le transformer en chlorure cuivrique il y a d'autre part à noter que M. Borchers ne fait arriver les deux gaz CO et O qu'en quantités juste suffisantes pour leur combinaison.

Nous avons tenu à donner les opinions adverses; il est certain que, pour nous fixer entièrement sur les réactions qui se produisent au sein de la pile à gaz, il serait utile qu'on fasse connaître la composition du mélange gazeux qui s'en échappe.

Pour la cathode de charbon, il est avantageux de prendre un charbon ayant été grillé à l'air. Selon M. L.-S. Powell (1), le charbon qui se prête le mieux à cet emploi n'est autre chose que le fraisil, ou charbon grillé trouvé dans les cendres de la houille. On peut d'ailleurs également se servir d'autres variétés, mais il est toujours nécessaire, pour obtenir le maximum de surface de contact de leur faire subir un grillage ou une combustion incomplète à l'air.

Continuons maintenant l'analyse des mémoires présentés.

Sur la dissolution des anodes composées, par Fr. Vogel

Dans beaucoup de décompositions électrolytiques de la pratique, l'anion dissous provient d'une anode formée d'un mélange de différentes substances. Il n'est pas sans intérêt pour la mise en pratique des procédés électrolytiques de connaître les réactions que donne l'anion avec les autres corps composant le mélange. Il serait utile de pouvoir, étant donnée la composition de l'anode, suivre les réactions non seulement qualitativement mais également au point de vue quantitatif.

Un cas relativement simple et assez fréquent est celui du raffinage électrolytique des métaux. Les choses deviennent plus compliquées, lorsque, comme dans le procédé Marchese, il s'agit de retirer un métal d'une anode qui contient à côté des combinaisons de ce métal, d'autres substances pouvant entrer en dissolution.

Quelques cas particuliers de la dissolution d'anodes composées ont été traités par M. Kiliani; mais on n'a pas donné jusqu'à présent un exposé systématique des réactions. M. Vogel indique la théorie en considérant d'abord le cas d'une anode composée dont un seul anion est susceptible de se dissoudre, puis le cas de la dissolution simultanée de plusieurs anions. Dans ce dernier cas il faut naturellement faire intervenir les réactions réciproques entre les corps dissous. La vitesse de dissolution de certains anions peut être supérieure à la vitesse de réaction; l'excès peut donner lieu à des réactions secondaires avec d'autres substances de l'anode, avec le dissolvant, avec l'électrolyte ou encore après diffusion, avec la cathode, et il peut en résulter des précipitations créant des difficultés à la pratique des procédés électrolytiques. Au fond, le raffinage ordinaire du cuivre constitue déjà un procédé de ce genre. Un exemple encore plus compliqué est celui du procédé Marchese, et il est très compréhensible qu'il ait pu donner jusqu'ici, des résultats peu favorables, et qu'un même procédé ne soit pas applicable à tous les minerais.

Sur les limites de l'électrolyse par M. Le Blanc

Pendant très longtemps, on a admis que dans une pile, toute l'énergie chimique qui disparaît se transforme intégralement en énergie électrique. A l'aide des valeurs des chaleurs de combinaisons positives et négatives des corps entrant en réaction, on pouvait donc calculer la force électromotrice que devait donner la pile. La pile Daniell, sur

(1) *Electrical Review*, de Londres.

laquelle on expérimentait alors, présente, en effet, une force électromotrice très rapprochée de la valeur que ce calcul fournit Plus tard, de nombreuses mesures faites sur d'autres éléments, montrèrent que la théorie était loin d'être d'accord avec l'expérience, et cela dans la grande majorité des cas. Divers chercheurs reconnurent que la relation très simple employée jusqu'alors ne s'appliquait qu'aux piles dont la force électromotrice reste invariable avec la température, tandis que tous les autres éléments donnent une force électromotrice tantôt inférieure, tantôt supérieure à celle indiquée par cette théorie. Il est donc nécessaire de connaître le coefficient de température qui, introduit dans les calculs, met la théorie en concordance avec la pratique.

Prenons l'élément hydrogène-eau oxygène Ordinairement, on le constitue en plaçant les électrodes de platines platinées, ou encore des électrodes de charbon dans des tubes fermés à l'extrémité supérieure et plongeant dans l'eau par leur extrémité inférieure. Le platine platiné sert d'adducteur de l'électricité, et la propriété qu il possède d'absorber les gaz permet le passage facile de l'état gazeux à l'état d'ion.

La force électromotrice de cet élément est de 1,07 volt à la température et à la pression ordinaires. Si on oppose à cet élément une force électromotrice de 1,07 volt, l'équilibre se trouve établi et il n'y a plus aucun mouvement d'électricité. Si l'on diminue la valeur de cette force électromotrice contraire, l'hydrogène et l'oxygène de la pile se combinent et un courant s'établit ; au contraire, en augmentant la force électromotrice extérieure, on provoque la décomposition de l'eau. Comme pour des masses d'eau égales, des quantités d'électricité égales sont en jeu, il est évident que la quantité d'énergie électrique mise en liberté par la formation d'une masse d'eau donnée est aussi celle nécessaire et suffisante pour décomposer la même masse d'eau. Et de même que la connaissance seule de la chaleur de formation de l'eau ne suffit pas pour permettre le calcul direct de l'énergie électrique de l'élément, de même il n'est pas permis de conclure de la valeur de la chaleur de décomposition à celle de l'énergie électrique nécessaire pour cette dernière.

Il est curieux que, malgré l'évidence de cette déduction, beaucoup de savants se contentent encore de baser le calcul de l'énergie électrique nécessaire à l'électrolyse sur la connaissance de la chaleur de décomposition seule.

Si, au lieu d'employer l'hydrogène et l'oxygène à la pression atmosphérique, nous diminuons la pression de ces gaz, nous devons trouver que la force électromotrice diminue dans une proportion que la théorie détermine et que la pratique vérifie. Sous une pression extrêmement petite, il est possible, par conséquent, de décomposer l'eau avec une force électromotrice très faible. L'énergie électrique en jeu peut donc varier entre des limites très grandes suivant les variations de la pression, c'est-à-dire de la concentration des gaz. Les chaleurs de formation à volume égal sont, au contraire, indépendantes de la pression, ce qui montre d'une manière frappante qu'il n'y a pas de relation directe entre la chaleur de réaction et l'énergie électrique. Mais en introduisant dans les calculs le coefficient de température variable avec la pression, on peut déterminer une des deux quantités d'énergie connaissant l'autre.

A première vue, le fait de la décomposition de l'eau par une très petite quantité d'énergie électrique semble en contradiction avec le principe de la conservation de l'énergie. Mais il faut tenir compte de l'appoint d'énergie nécessaire pour amener les gaz à la pression inférieure correspondante.

Voyons maintenant l'influence de la nature des électrodes. Si nous prenons deux fils de platine, et si nous intercalons dans le circuit un galvonomètre et une force électromotrice pouvant croître de 0 à une valeur quelconque, nous observons les faits suivants. Chaque fois que l'on augmente la force électromotrice, le galvanomètre donne au début une petite dé-

viation, puis revient presque au repos. Ce phénomène se produit jusqu'à ce que la force électromotrice ait atteint la valeur de 1,70 volt. A partir de ce point, les déviations augmentent à mesure que la force électromotrice croît et le galvanomètre ne revient plus au repos, et la valeur de 1,70 volt est celle qui caractérise le point de décomposition permanente de l'eau.

Si aux électrodes de platine on en substitue d'autres en or ou en charbon, on trouve encore un point caractéristique, mais qui correspond à une force électromotrice différente.

C'est évidemment la propriété d'absorber plus ou moins facilement les gaz formés qui donne aux électrodes cette diversité d'action. Avec les électrodes platinées, il y a équilibre entre la quantité de gaz dissoute dans le liquide et dans l'électrode et celle qui entoure l'électrode. Si la force électromotrice employée suffit pour vaincre celle de l'élément, il se dégage du gaz à l'électrode; par suite, la concentration du gaz dissous dans l'eau et dans l'électrode s'accroît, mais bientôt on revient à l'état initial, l'électrode dégageant son excès de gaz dans l'espace ambiant (supposé assez grand pour ne pas subir de variation de concentration) et empêchant ainsi une sursaturation du liquide. Le gaz dégagé par la suite rencontrant toujours le même état de concentration est donc toujours mis en liberté par la même force électromotrice.

Il en est autrement avec des électrodes d'or. Celles-ci ne sont pas capables d'absorber le gaz. En commençant avec une faible force électromotrice, il se produit une décomposition à peine appréciable, parce que la concentration des gaz dissous dans l'eau est d'abord très faible. Chaque fois que la force électromotrice est augmentée, elle décompose une certaine quantité d'eau, jusqu'à ce que le gaz dissous se trouve à l'état de concentration auquel il donnerait précisément cette force électromotrice si on employait des électrodes platinées. On ne peut évidemment pas dépasser ce degré de concentration; c'est pour cette raison que le galvanomètre indique chaque fois un courant de charge qui cesse au bout de peu de temps. Le phénomène se complique un peu par l'intervention de la diffusion qui change la concentration.

Si l'on cherche à augmenter encore la concentration du gaz libéré, celui-ci finit par s'échapper sous forme de bulles. Ce point étant atteint, la décomposition de l'eau a lieu sans augmentation ultérieure de la concentration du gaz à l'électrode.

Le point de décomposition correspond donc au moment où commence le dégagement du gaz ; il varie avec la nature des électrodes, et ne peut donc servir à calculer l'énergie électrique nécessaire à la décomposition, d'autant plus qu'on ne peut introduire le coefficient de température, car la température agit aussi sur la concentration du gaz dissous.

La force électromotrice de l'élément hydrogène-oxygène est indépendante de la nature de l'électrolyte. Elle se compose de la chute de potentiel à l'électrode hydrogène et de celle qui a lieu à l'électrode oxygène, elles-mêmes fonction de la concentration des ions aux deux électrodes. Mais comme le produit des concentrations des ions hydrogène et oxygène est constant, quelles que soient les substances étrangères en dissolution dans le liquide, la somme des chutes de potentiel ne varie pas avec la composition de l'électrolyte.

Abstraction doit être faite naturellement des solutions salines réductibles par l'hydrogène ou oxydables par l'oxygène libre.

On peut donc dire, en général, que dans l'électrolyse, le phénomène primaire est la décomposition de l'eau ; la conduction se fait par l'intermédiaire de tous les ions que contient la solution. En électrolysant du K^2SO^4, par exemple, il n'est pas du tout nécssaire d'admettre la séparation du K d'avec le radical SO^4, et de faire agir ces éléments secondairement sur l'eau. C'est là une complication inutile, puisque nous n'observons en fait qu'un dégagement d'hydrogène et d'oxygène.

Si nous électrolysons entre deux électrodes de platine la solution saline d'un métal tel que

le cuivre ou l'argent, le métal se dépose au pôle négatif. Il ne peut pas se former dans ces conditions de quantité considérable d'hydrogène, parce que le gaz une fois libéré reste en dissolution dans le liquide et que la force électromotrice nécessaire au dégagement régulier du gaz est supérieure à celle qui permet de précipiter le métal.

On reconnaît à cet exemple l'importance du fait que les électrodes ordinaires ont la propriété d'empêcher jusqu'à un certain point le dégagement direct du gaz. Si elles n'avaient pas cette propriété nous pourrions, il est vrai, décomposer l'eau avec une force électromotrice moindre; mais comme ce phénomène précéderait le dépôt du métal, il y aurait là une difficulté considérable pour toutes les applications de l'industrie électrochimique.

Dans toutes les piles analogues à l'élément hydrogène-oxygène, la force électromotrice dépend de la concentration des substances fournissant les ions. Nous pouvons aussi constituer des éléments employant le même gaz aux deux électrodes, mais à des degrés différents de concentration (éléments de concentration). Comme exemple, on pourrait citer l'élément mercure-sulfate mercureux-mercure, dont la force électromotrice dépend de la pression d'une des électrodes. Dans tous les cas, le courant va de l'électrode à concentration supérieure à l'autre, et ne cesse qu'avec l'égalisation des concentrations.

Avec des substances à l'état solide nous ne pouvons pas former d'élément de concentration. L'état solide représente le maximum de concentration de la substance, qui donne donc aussi le maximum de force électromotrice avec un électrolyte donné. Mais on peut se demander si un corps solide ne peut être amené à une concentration moindre. Et en fait, d'après les lois de l'équilibre chimique, cet état doit exister.

Si l'on veut, par exemple, électrolyser entre deux lames de platine une solution de cadmium, en employant d'abord une petite force électromotrice, des quantités minimes de cadmium se déposent d'abord sur l'électrode, tout comme dans le cas de l'hydrogène. En augmentant la force électromotrice, ce dépôt augmente, et lorsque finalement la force électromotrice est suffisante pour provoquer la décomposition continue du sel, le cadmium précipité a atteint la concentration du cadmium massif ordinaire. Cela explique d'ailleurs le fait que le cadmium déposé en quantité infinitésimale sur une lame de platine donne une force électromotrice plus petite qu'une lame de cadmium.

Pour précipiter des quantités pondérables d'un métal, c'est-à-dire produire la décomposition continue d'un sel métallique, une force électromotrice bien définie est nécessaire; sa valeur varie d'un métal à l'autre. On en a déduit qu'en augmentant par degrés la force électromotrice, il doit être possible de séparer quantitativement les différents métaux contenus dans un mélange de sels. S'il s'agit d'un mélange de sels de cuivre et de cadmium, on peut, en employant une force électromotrice inférieure à celle qui décompose le sel de cadmium, faire précipiter d'abord le cuivre seul. Quand tout le cuivre du mélange est déposé, le courant cesse simplement, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'observer l'électrolyse ni d'opérer aucun réglage du courant. Il suffit d'augmenter la force électromotrice pour précipiter à son tour le cadmium.

Par ce procédé, on a pu opérer une série de séparations analytiques qui n'étaient pas possibles auparavant, lorsque, au lieu de régler la force électromotrice, on agissait sur l'intensité du courant.

Cet exposé des récents progrès dans le domaine de l'électrochimie montre combien les phénomènes de l'électrolyse et de la polarisation présentent de particularités encore peu connues. Tous les progrès faits dans la connaissance de ces phénomènes sont dus à la théorie de la dissociation électrique, et l'on peut dire que, sans posséder complètement cette théorie, nul ne saura dans l'avenir contribuer efficacement au développement de l'électrochimie.

P.-H. LEDEBOER.

EXTRAITS

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

COMMUNICATIONS

Les effets de la foudre sur les cheminées d'usines

Les hautes cheminées d'usines sont particulièrement exposées aux effets de la foudre; on les protège efficacement en leur adaptant des paratonnerres reliés à la terre sans discontinuité par des câbles bons conducteurs; mais on ne songe guère à établir cette protection que lorsque la cheminée a été complètement édifiée et comme accessoire de la construction.

La destruction par la foudre d'une cheminée monumentale, dans la fabrique de sucre de Kojanka, dépendant des domaines de Biclaïa Tserkow, au moment où elle venait d'être montée et avant que le paratonnerre ne fût placé, vient démontrer la nécessité de protéger les cheminées, même en cours de construction, au moyen de dispositions spéciales permettant le déplacement du parantonnerre à mesure que s'élève la cheminée.

M. Jules Bocquin, ingénieur conseil de ces domaines et usines, a décrit le mode de construction de la cheminée qui a été atteinte par la foudre, les dégâts qui ont été causés et les réparations qui ont été rendues nécessaires.

Il est intéressant de noter la façon dont la cheminée a été construite, non seulement en raison de ses conditions techniques, mais encore pour bien établir que les atteintes de la foudre ne s'expliquent pas dans le cas que nous rapportons, par des considérations spéciales et particulières à cette cheminée.

La sucrerie de Kojanka est des plus importantes; elle a traité pendant la campagne de 1893-94, 21 887 tonnes de betteraves en 54 jours, soit en moyenne 405 tonnes par 24 heures; elle a produit plus de 2 millions 1/2 de kilog. de sucre, correspondant à un rendement de tout près de 12 kilog. de sucre cristallisé blanc pour 100 kilog. de betteraves.

Ces chiffres montrent l'importance de la fabrication qui, d'ailleurs, tend à se développer encore

Pour faciliter le travail, les domaines ont résolu de remplacer les cheminées existantes par une grande cheminée capable d'assurer le tirage de tous les foyers.

Au point choisi pour construire la cheminée, on a procédé à un sondage pour se rendre compte de la nature du terrain; on a trouvé à à 2 m. 50 de l'eau provenant d'un étang voisin, puis une couche argileuse peu résistante et à 9 m. 25 un terrain capable de supporter la construction

On décida, dès lors, de renforcer le terrain mou en y battant des pieux, de sorte que la cheminée repose sur 100 pilotis répartis sur un carré de 8 mètres de côté, soit sur 64 mètres carrés de surface.

Les têtes des pilotis ont été réunies par un quadrillage en chêne et le tout a été noyé dans un massif de béton d'un mètre d'épaisseur.

Le massif de fondation qui a 3 mètres de hauteur et le piédestal dont la hauteur est de 10 mètres, sont construits en briques ordinaires de Kiew.

Le fût de la cheminée, d'une hauteur de 45 mètres est construit en briques spéciales perforées, venant de Chemnitz (Allemagne).

Le poids total de la maçonnerie est de 850 000 kilos et la construction est revenue à près de 50 000 francs.

Mais ce beau travail n'a pas eu le temps de servir aux usines de Kojanka; achevé le 30 juin dernier, il a été atteint par la foudre dans la nuit du 1er au 2 juillet, pendant une grande tempête déchaînée dans la région.

La foudre a produit ainsi qu'en témoigne le dessin reproduit par le *Génie civil*, une immense crevasse sur toute la longueur du fût de la cheminée; des fragments de briques et même des briques entières ont été projetées jusqu'à 80 mètres de distance.

Il n'y eut personne d'atteint, seul le gardien de nuit reçut le contre coup de l'action électrique, il tomba à terre, perdit connaissance mais fut relevé sans blessure.

La foudre avait suivi la ligne verticale des échelons en fer placés à l'intérieur de la che-

minée; ces échelons ont été tordus, arrachés ou brisés.

Ces échelons de métal constituaient un mauvais conducteur de l'électricité, faute d'être reliés entre eux, au sol et à une pointe extérieure. Les actions mécaniques exercées d'un échelon à l'autre expliquent l'arrachage et la torsion du métal entraînant les maçonneries dans lesquelles il était encastré.

Le mode de construction n'est donc pour rien dans l'accident qui ne s'explique que par l'absence de paratonnerre.

La cheminée a pu être réparée, on y a placé un paratonnerre dont le conducteur est constitué par un fer plat qui assure la déperdition facile de l'électricité dans le sol humide que les sondages ont rencontré.

La nécessité de protéger, en cours d'exécution, les travaux de construction des cheminées, contre les atteintes de la foudre, s'impose surtout alors qu'il s'agit de hautes cheminées qui sont particulièrement sujettes à ces sortes d'accidents et qui, d'ailleurs, représentent des sommes considérables dépensées en matériaux et en main d'œuvre.

Les armatures en fer placées à l'intérieur des chemines soit pour les consolider, soit pour le service des réparations et de l'entretien, contribuent à aggraver le danger de la foudre, lorsqu'un bon parantonnerre ne vient pas régler les courants électriques pour les diriger vers la terre et en annuler les effets destructeurs.

C'est à ce titre que la cheminée de Kojanka fournit un exemple à retenir, surtout parce qu'elle a subi de fortes atteintes en dépit de sa construction très robuste et très soignée.

L'Electricité et le développement des Plantes par L.-H. Bailey

M. L.-H. Bailey, professeur d'horticulture à l'Université Cornell, publie, dans les *Transactions* de la « Massachusetts Horticultural Society », une intéressante étude sur ce sujet ; nous en empruntons le résumé à *The Electrical Engineer*, de Londres.

Cette étude est partagée en deux parties ; l'une traite de l'application de l'éclairage électrique et l'autre de l'emploi de l'électricité ou du courant électrique au développement des plantes.

I. — L'auteur conclut que la lumière de l'arc électrique exerce une puissante influence sur les plantes de serre ; toutes les espèces, quelquefois même les fleurs de jardin, sont influencées, mais à des degrés différents. Cette variété d'effet tient à ce que la plante tend à s'adapter aux nouvelles conditions dans lesquelles elle est placée ; la modification est sans doute en rapport avec l'élasticité ou la fixité de l'organisation de la plante et, par conséquent, aux conditions sous lesquelles l'espèce a été formée. Il en résulterait donc que, si des plantes étaient soumises à l'action de la lumière électrique pendant un certain nombre de générations, des variétés plus ou moins " adaptives " se formeraient, de même que des plantes se sont profondément modifiées pour s'adapter à la culture en serre. La lumière électrique affecte les plantes en hâtant la croissance normale, mais cet effet peut être assez puissant pour détruire la plante. On évite ce danger en interposant un écran en verre, ou en éloignant la plante à une distance telle que les effets pernicieux des rayons ultra-violets soient suffisamment atténués. Les principes fondamentaux mis en œuvre sont maintenant assez clairement compris, et la méthode pourra donner, dans un prochain avenir, des résultats pratiquement utilisables.

II. — Après avoir résumé les différentes expériences qui ont été faites pour étudier l'influence de l'électricité sur le développement des plantes, l'auteur ajoute :

« Quoique je n'aie pas l'intention d'analyser les résultats des nombreux essais d'application de l'électricité au sol, je désire, en passant, soumettre quelques suggestions. En premier lieu, il n'est pas prouvé, autant que je puisse savoir, que les effets remarqués par certains auteurs soient dûs à la simple élec-

trisation du sol. Il est tout aussi probable que l'avantage ou la perte constatés résultent de quelque effet chimique ou mécanique que le courant peut exercer sur le sol ou l'air qu'il contient. Ensuite, et c'est sur quoi je désire surtout attirer l'attention, c'est qu'aucune des recherches effectuées ne satisfait aux exigences de l'expérimentation rationnelle. Les champs en essai sont munis de fils ou de plaques métalliques enfoncées dans la terre, tandis que les champs de contrôle sont laissés dans les conditons ordinaires. La mise en place des appareils dans le sol exige la manœuvre de tout ou partie de la terre, qui se trouve, par conséquent, dans de bien meilleures conditions mécaniques que dans les champs témoins. Même si l'on prenait la précaution de labourer également ces derniers, la simple présence des fils et des plaques introduirait une grande source d'erreur, car les fils seraient d'importants organes d'aération et de drainage ; probablement, même, ils modifient la température du sol ; les plaques métalliques doivent agir de même. C'est un fait bien connu que, dans certains cas, la germination des semences peut être hâtée en enfonçant une brindille près d'elles : celle ci devient un organe permettant l'introduction de l'oxygène de l'air et probablement aussi l'évaporation de l'eau surabondante. Un des plus grand avantages du labourage des terres fumées est l'effet mécanique qui en résulte, car chaque brin de paille ou de fibre végétale forme un tube pour le passage de l'air et de l'eau. Ça été pendant longtemps l'habitude, dans les pays froids, de mettre des débris de poteries ou d'autres plaques sous les arbres fruitiers pour « chauffer leurs pieds ». Quoique je sois convaincu que l'application de l'électricité au sol peut produire des effets marqués sur la végétation, j'hésiterai à accepter les résultats d'expériences tant que les champs témoins ne seront pas munis comme les autres de fils et plaques — en matières non conductrices, évidemment —, et que l'on n'aura pas observé avec une soigneuse attention la température et l'humidité.

Il est très probable que l'électricité atmosphérique exerce une puissante influence sur la végétation. Les expériences de Grandeau peuvent servir à éclairer ce point. Des plantes étaient élevées à l'air libre qui est toujours plus ou moins chargé d'électricité ; d'autres étaient élevées dans des cages en fil métallique, à l'intérieur desquelles il n'existait aucune trace d'électrisation. Le maïs élevé à l'air libre était, à tous les points de vue, bien supérieur à l'autre ; non seulement par le volume de tous ses organes, mais encore par le poids de ses cendres et par leur composition ; il contenait plus de matières nitreuses et autres.

Leclerc, qui a fait, à la même époque, des recherches analogues, est parvenu à des résultats identiques. Voici les conclusions de Grandeau :

I. — L'électricité atmosphérique exerce une influence considérable sur la production des matières végétales. Toutes choses égales, les plantes se développent mieux quand elles sont exposées à l'influence de l'électricité atmosphérique.

II. — Les plantes soustraites à l'action de l'électricité atmosphérique ont donné, dans le même espace de temps, 50 à 70 o/o moins en volume et 50 à 60 o/o en moins de fruits et de graines que les plantes soumises aux conditions normales, c'est-à-dire celles auxquelles l'électricité atmosphérique a libre accès.

III — La proportion de matières albumineuses ne semble pas sensiblement influencée par l'électricité, mais les plantes dont l'électricité atmosphérique est écartée semblent contenir moins d'eau et plus de matières minérales.

IV. — Les grandes plantes ont une influence pernicieuse sur le développement de celles qui poussent à leur pied, non seulement parce qu'elles les privent de chaleur et de lumière, mais parce qu'elles absorbent l'électricité atmosphérique.

Céli, peu après, obtint des résultats analogues, tandis que Naudin arrivait à des conclusions directement opposées. Mais les ré-

sultats bien nets obtenus par les trois premiers expérimentateurs sont généralement acceptés comme une preuve de l'action favorable exercée par l'électricité atmosphérique ordinaire ; on peut supposer que, dans les expériences de Naudin, il y a eu quelques conditions négligées qui ont altéré les résultats.

Les meilleures expériences dont les résultats soient parvenus à ma connaissance sont celles que M. Lemström a faites en Finlande et en France.

Ce savant avait obtenu, dans le premier de ces deux pays, des résultats très favorables. Il restait à déterminer si ces résultats pouvaient être obtenus aussi dans d'autres parties du globe ou s'ils n'étaient possibles qu'à de hautes altitudes. Il transporta donc son champ d'expériences en France, où des céréales, des légumes de jardin, et un grand nombre d'arbres fruitiers furent traités.

Une des particularités de ces expériences fut la façon dont se comportèrent des fraisiers, soumis jour et nuit, depuis le milieu d'avril jusqu'au milieu de juin, à une décharge aérienne de 2000 à 3000 volts. Les premières fleurs parurent le 29 avril dans la partie électrisée et le 7 mai seulement dans le champ de contrôle. Les pieds électrisés restèrent, à tous les points de vue, supérieurs aux autres jusqu'au 18 mai ; à cette époque, il survint une période de 8 jours de chaleurs excessives. Les pieds traités s'étiolèrent et leur rendement fut beaucoup moindre que celui des autres, laissés dans des conditions normales. La conclusion tirée de cet essai intéressant, c'est que l'action simultanée de l'électricité et d'une haute température est funeste aux plantes ; elle a conduit à supprimer l'action du courant pendant les parties les plus chaudes du jour, ce qu'on avait déjà fait, du reste, en Finlande.

Quoique les remarquables expériences de Lemström aient montré que l'application de l'électricité atmosphérique ait généralement une influence profonde sur les plantes, on n'a pas encore déterminé comment, au juste, cet effet est produit. Il est très probable, cependant, ainsi que Lemström lui-même le suppose, que les modifications ne sont pas le résultat direct de l'électrisation des plantes ou de l'atmosphère, mais bien plutôt de quelque modification chimique engendrée par le courant. Lemström doit continuer ses expériences et M. Bailey a l'intention de faire, en Amérique des essais complémentaires. « Car, dit-il, je considère que c'est le champ d'expérience le plus favorable pour élucider les nombreuses relations, encore si obscures, qui existent entre l'énergie électrique et la pratique de l'horticulture. J'espère peu de résultats pratiques des méthodes d'électrisation directe des végétaux ; mais on peut obtenir d'utiles renseignements de ces beaucoup plus vastes applications qui amplifient les procédés ordinaires de la nature. »

Canalisation souterraine Spence-Doulton.

Les figures ci-jointes représentent le nouveau type de canalisation, destiné à recevoir des conducteurs en cuivre nu, qui vient d'être

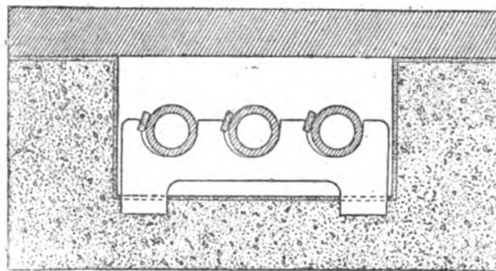


Fig. 1. — Caniveau en béton.

proposé par MM. Doulton et C°. Elle se compose, comme le représentent les figures 1 et

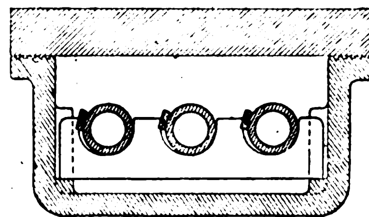


Fig. 2 — Caniveau en poterie.

2, de tubes en poterie vitrifiée portés sur des ponts isolants de la même matière, et placés à

l'intérieur des caniveaux. Les conducteurs de cuivre nu sont placés à l'intérieur de ces tubes, comme les représentent les figures 4 et 5. Un joint hermétique d'un modèle spécial, ne nécessitant pas l'emploi du ciment, est employé. La figure 3 représente, en plan, les dispositions de ce système. Les figures 4 et 5 donnent le détail d'une boîte de connexion. L'isolement serait très bon, car il est assuré à la fois par les tubes et par les ponts. Avec cette canalisation, on pourrait facilement ajouter de nouveaux conducteurs dans une même conduite sans retirer les anciens, et comme le poids du câble n'est pas augmenté du poids d'un isolant, les trous d'homme peuvent être plus éloignés les uns des autres.

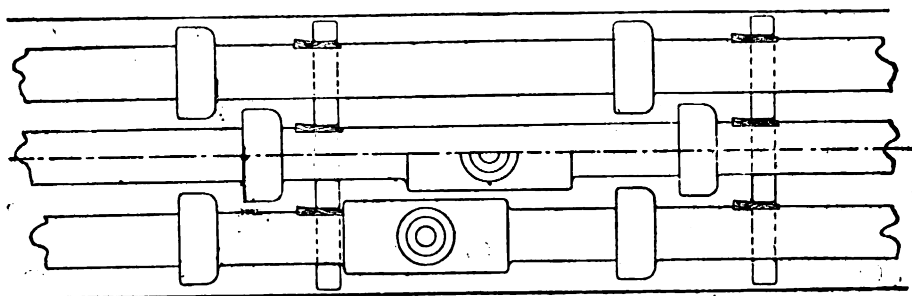


Fig. 3. — Boites de jonction, plan.

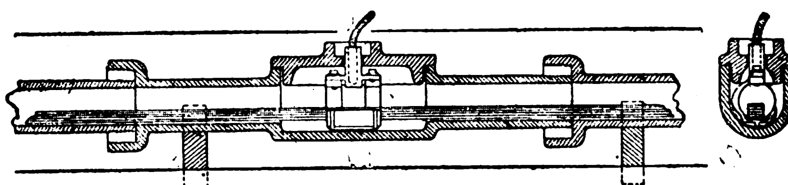


Fig. 4 et 5. — Boites de jonction, coupe.

La figure 2 représente la coupe d'un caniveau en poterie.

Dégradateur électrique par P. Maccarry

Beaucoup de nos lecteurs ont fait de la photographie. et ce n'est certes pas sans ennui qu'ils ont été arrêtés par la nécessité de tourner et d'orienter leurs châssis à tirages pour obtenir des dégradés convenables. En vue d'éviter cette manipulation monotone, un amateur photographe, M. Macarry a imaginé un dégradateur rotatif aussi simple que possible. Il pose ses châssis à plat sur de petites plateformes en métal léger et les recouvre de dégradateurs bombés, à dents, découpés dans un carton quelconque. Chaque plateau-support est fixé sur l'axe vertical d'un très petit moteur électrique des plus primitifs. Un nombre d'éléments Callaud, proportionné à celui des moteurs, dessert toute cette machinerie lilliputienne. Grâce à cette rotation régulière des châssis regardant le zénith, l'inventeur obtient d'excellents résultats sans avoir besoin, pour ainsi dire, de s'occuper de la venue des images. Les éléments Callaud d'un entretien insignifiant, comme on le sait, d'une grande constance et dépourvus d'odeur, sont à la portée de tous, et d'autre part les moteurs à électros et à palettes, c'est-à-dire construits de la façon la plus élémentaire, font presque un jouet à bon marché, de ce dégradateur qui peut rendre aux professionnels de réels services.

D. S.

Le moteur électrique en sucrerie, par O. Kœhler

M. O. Kohler donne dans *Deutsche Zucker-industrie* un intéressant article sur l'emploi des moteurs électriques à la sucrerie de Groningen.

L'installation électrique comprend deux dynamos à courant continu de Siemens et Haskle : H_{19} de 41 600 watts et LH_{11} de 23 000 watts. Ces machines sont actionnées par des turbines éloignées de 700 mètres de la fabrique. A l'usine sont établies une batterie d'accumulateurs de 120 éléments et 594 ampères-heures, et comme machines de réserve deux autres dynamos H_{11} et LH_{11} commandées par deux moteurs à vapeur. Les dynamos fournissent le courant à 750 lampes à incandescence et 10 lampes à arc, à 5 petits électromoteurs d'ensemble 25 chevaux et aux grands moteurs H_{11} et LH_{11}.

Les petits moteurs électriques ont remplacé un certain nombre de machines à vapeur et de transmissions et fonctionnent depuis deux ans d'une façon satisfaisante; le collecteur même est resté intact grâce à l'emploi de balais en charbon.

L'économie réalisée était surtout marquée dans l'application d'un électromoteur à un élévateur, qui était actionné auparavant par une machine à vapeur de 3 chevaux. Tandis que le moteur à vapeur continuait à tourner, même lorsque l'élévateur ne fonctionnait pas, on ne met l'électromoteur en action que quand on a besoin de la force motrice. Voici, d'ailleurs, la comparaison qu'on a établie entre les deux systèmes :

1. Actionnement par moteur à vapeur :

La marche à vide du moteur et de la transmission avec 2 courroies et 2 poulies folles absorbait 2,1 chevaux ; le levage de 600 kg. de charbon exigeait 4,8 chevaux.

2. Actionnement électrique :

Moteur et transmission avec une courroie et une poulie folle prennent 1,4 cheval, le levage de 600 kg, de charbon absorbe 4,1 chevaux.

Comme l'élévateur double élève en 100 heures 300 fois 600 kg. de charbon et que la durée de chaque voyage est de 55 secondes, on a pour durée de fonctionnement vrai 4 heures 18 minutes et une durée de repos de 5 heures 42 minutes.

Dans l'ancienne disposition on employait :

En marche à vide.	$5,7 \times 2,1 = 11,9$	chev.-h.
En charge.......	$4,3 \times 4,8 = 20,6$	»
Par jour.........	32,5	chev.-h.

Dans la nouvelle disposition on n'emploie plus que :

$$4,2 \times 4,1 = 17,6 \text{ chevaux-heures}$$

Un autre avantage appréciable de la force motrice électrique est la facilité du transport et de l'installation des moteurs. Au cours de la campagne sucrière on a souvent besoin d'installer la force motrice en un point quelconque de l'usine. Avec l'électricité, il suffit d'établir deux fils et déplacer le moteur soit à terre, soit contre un mur, ou même de le suspendre au plafond. Pour les sucreries, avec leur marche intermittente et la variabilité de leur production, ces avantages ne sont pas à dédaigner. Aussi l'auteur espère-t-il que les moteurs électriques trouveront de plus en plus d'applications dans les sucreries, où ils se substitueront aux petites machines à vapeur et contribueront ainsi à la centralisation de la vapeur. Mais avant tout ils seront avantageusement appliqués à la mise en mouvement des turbines à force centrifuge.

Il conviendrait, d'après les constatations faites, d'abandonner l'actionnement des turbines par groupes et de les munir, chacune, de son moteur spécial. A ce point de vue, les résultats de mesures sont intéressantes.

La transmission principale absorbait 4,25 chevaux; cette même transmission avec les poulies de commande de 6 turbines prenait 6,5 chevaux, et avec les poulies de 12 turbines 7,5 chevaux.

Une turbine, une fois en marche, exigeait un cheval ; mais, pour la mise en marche, il faut une puissance bien différente selon la durée du démarrage. Avec une durée de démarrage de 20 à 25 secondes, la turbine absorbe pendant les premières 10 à 15 secondes environ 10 chevaux, puis la puissance diminue rapidement jusqu'à un cheval. Avec une durée de 50 à 70 secondes, il faut dans les pre-

mières 15 secondes 4 chevaux, de 15 à 45 secondes 5 chevaux.

Pour l'essai des grandes turbines, on s'est servi d'un moteur électrique LH_{14} de 35 chevaux. Ces turbines ont 800 mm. de diamètre, reçoivent une charge de 250 kg. et font 950 tours par minute. La transmission pour 18 turbines absorbait, à 160 tours par minute, 8,7 chevaux; la même transmission avec 18 poulies de commande, 15 chevaux.

Il va de soi que, dans l'actionnement direct des turbines par moteurs individuels, les pertes par glissements des courroies et celles absorbées dans les transmissions sont évitées.

Le prix de revient de l'ozone

L'*Electrical Review*, de Londres, ayant trouvé extrêmement faible la quantité d'ozone (20 grammes par cheval-heure) indiquée comme rendement des appareils Siemens par M. Frœlich dans sa récente communication sur ce sujet M. Frœlich répond dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* en montrant les effets considérables que peut produire cette quantité d'ozone dans diverses applications.

20 grammes d'ozone permettent de blanchir 50 kg. de toile de lin au même degré qu'une exposition de trois jours au soleil.

40 kg. d'amidon peuvent être blanchis et raffinés à l'aide de cette même quantité.

Si l'on continue, l'ozonisation de l'empois d'amidon on obtient un produit rappelant la gomme arabique et valant le double du prix de l'amidon; 20 grammes d'ozone suffisent pour l'obtention de 30 kg. de ce produit.

La même quantité d'ozone introduite dans une pièce d'appartement agit d'une façon si intense sur les poumons, qu'une personne saine ne peut la supporter; la même quantité suffit pour ozonizer une salle de 8,000 mètres cubes à un degré tel que la respiration peut encore s'y faire sans inconvénient.

Au point de vue du blanchiment, 20 grammes d'ozone ont la même action qu'un 1/2 kg. de l'eau oxygénée du commerce

Ces exemples montrent que le prix de revient de l'ozone n'est pas trop élevé pour une série d'applications. S'il en était autrement, l'établissement de blanchiment par l'ozone de Gresffenberg, en fonctionnement depuis un an et demi, n'aurait pu subsister, et de nouvelles installations ne seraient pas projetées.

Le fil de retour supplémentaire pour tramways électriques, par H.-S. Wynkoop (¹).

Il y a à peine neuf mois que M.J.-H.Vail a lu, devant la National Electric Light Association, un mémoire sur l'importance d'un circuit métallique complet dans l'industrie des tramways électriques. Il insistait sur la nécessité absolue d'établir une communication métallique intime entre les extrémités des rails voisins, non seulement comme un moyen de diminuer la résistance et, partant, la consommation de charbon, mais aussi, comme le meilleur moyen de diminuer, sinon d'empêcher les phénomènes d'électrolyse. Avant cette époque et pendant une période de 10 années, les inventeurs n'avaient pris que 10 brevets sur les joints électriques des rails; encore, plusieurs de ces brevets se rapportaient-ils à l'exploitation du block-système; la moyenne était donc de 1 brevet par an. Depuis la communication de M. Vail, il n'a pas été délivré, sur les joints de rails pour tramways exclusivement, moins de 1 brevet par mois.

Il est curieux que l'importance reconnue d'un circuit de retour perfectionné n'ait pas condutit à l'abandon définitif du fil de retour supplémentaire.

Celui-ci a été engendré par la rivalité des deux premières Compagnies américaines de tramways électriques. Les deux Compagnies employaient des joints d'une efficacité à peu près égale; mais l'une d'elles possédait alors par ses brevets le monopole du procédé d'alimentation de la ligne principale par des feeders. L'autre Compagnie, pour obtenir des résultats comparables, fut obligée d'employer plus de cuivre dans le circuit; elle substitua

(¹) *The Electrical Enginerr*, New-York, 16 janvier 1895.

du fil de cuivre dur étiré, n° 0, B et S, au fil de bronze siliceux n° 4, pour le fil de trolley, et un fil de cuivre n° 0, B et S, à un fil de fer galvanisé n° 4, pour la jonction des rails; elle recourut aussi à un fil de retour supplémentaire, en cuivre, relié aux joints à intervalles rapprochés. Elle put alors dire qu'elle employait moins de cuivre dans la ligne aérienne que la Compagnie rivale, tout en obtenant des résultats aussi favorables quant à l'économie (mais non quant à l'uniformité de la tension). Le cuivre supplémentaire était placé sous terre; on l'oubliait, ainsi; en vérité, l'action électrolytique ne tardait pas à le faire disparaître complètement.

Cependant, le développement de l'industrie des tramways électriques conduisit à employer des voitures plus grandes, des moteurs plus puissants et des voies plus lourdes. Le courant augmentait en conséquence; on dut alors augmenter aussi les joints et les fils de retour.

Aujourd'hui, le brevet en question est annulé; il n'y a donc aucune nécessité d'employer un fil de retour. Sa seule raison d'être serait de le considérer comme un moyen d'économiser du combustible. Examinons ce point, en supposant qu'il n'est pas attaqué par l'électrolyse, que sa disparition totale n'est pas une simple question de temps et que ce temps n'est pas, comme on l'a observé sur certaines parties de la ligne d'Atlantic Avenue, à Brooklyn, une affaire de quelques mois seulement.

Prenons un cas qui se rencontre fréquemment dans la pratique journalière : une voie simple, avec girder rails de 30 kg. au mètre courant, deux fils de cuivre n° 0000, B. et S., par joint, et deux fils supplémentaires en cuivre, du même numéro. La conductibilité totale des deux rails équivaut à celle d'un fil de cuivre de longueur égale et de section égale à 2 880 000 circular mils; celle des 4 fils de jonction, à une section de 846 400 circular mils. et celle des fils supplémentaires à 423 200 circular mils.

La résistance de ce système, en supposant que tous les joints sont électriquement parfaits, sera de 0,001216 ohm par kilomètre. Pour calculer cette valeur, nous avons admis 900 mètres de rails et 100 mètres de fils de jonction par kilomètre. Si nous supprimons les fils supplémentaires et que nous employions une partie du cuivre ainsi économisé pour parfaire les joints, de façon à leur donner une conductibilité égale à celle des rails, nous réduirons la résistance à 0,001194 omh par kilomètre. Nous aurons ainsi diminué la résistance de 0,000022 omh par kilomètre, ce qui a son importance quand on emploie de très forts courants; en outre, nous avons supprimé 1910 kilogrammes de cuivre sur le fil supplémentaire, et nous n'en avons dépensé que 920 pour les joints. C'est une économie de 990 kg de cuivre par kilomètre.

Dispositifs de circulation dans les appareils électrolytiques, par P. Schoop (1).

Dans tous les procédés électrolytiques une modification chimique de l'électrolyte a lieu aux surfaces de contact avec les électrodes. Pendant le passage du courant, les ions positifs s'accumulent à la cathode et les ions négatifs à l'anode. Il en résulte que le liquide parfaitement homogène au début ne tarde pas à présenter des couches de composition différente.

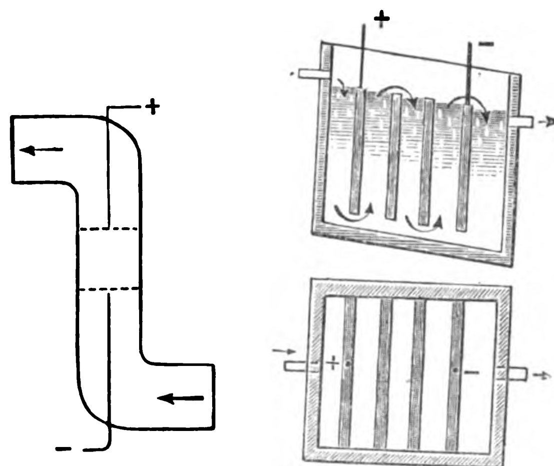


Fig 1 et 2. — Fig. 1, électrolyseur à renouvellement de liquide; fig. 2, électrolyseur Fletscher.

Or, les produits de l'électrolyse dépendent évidemment de la nature de l'électrolyte, et il est important d'éviter les variations de com-

(1) *Zeitsch. f. Elektrochemie*, décembre 1894.

position de celui-ci, si l'on veut obtenir des produits conformes pendant toute la durée de l'opération.

Le moyen le plus simple consiste naturellement à renouveler continuellement les couches de liquide baignant les électrodes. Ce procédé suppose l'emploi de grandes quantités d'électrolytes dans un appareil à circulation dont le principe est schematisé par la figure 1.

La cathode et l'anode sont constituées par des toiles métalliques laissant passer le courant de liquide. S'il s'agit de soustraire les corps déposés à la cathode à l'action des substances formée à l'anode, on place la cathode au-dessous de l'anode en faisant arriver le liquide par en bas, comme l'indiquent les flèches.

Il n'est d'ailleurs pas toujours nécessaire que l'électrolyte soit constamment renouvelé ; dans la galvanoplastie du cuivre, par exemple, un traitement judicieux permet de ramener la solution toujours à la même composition. Même lorsque le renouvellement de l'électrolyte n'est pas possible, on peut toujours mélanger les différentes couches de liquide, soit par une agitation mécanique (mouvement des électrodes, insufflation de gaz, etc.) soit par la circulation du liquide.

Un cas simple se rencontre dans le raffinage du cuivre d'après le procédé Fletscher. Les deux électrodes ont le même métal pour base et l'électrolyte est une solution sulfurique de ce métal.

Les électrodes sont des plaques de matte de

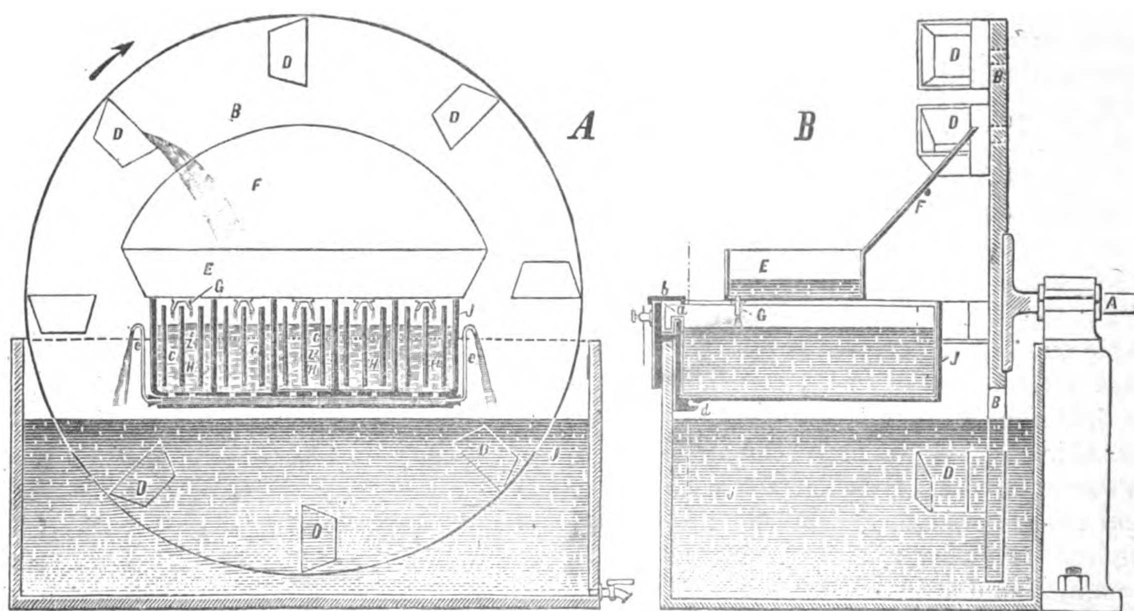


Fig 3. — Electrolyseur Lagarde.

Un voltamètre à cuivre construit d'après ce principe donnerait des résultats tout à fait exacts, puisque l'acide persulfurique naissant à l'anode serait constamment éloigné de l'appareil.

Mais dans la grande majorité des applications pratiques, l'électrolyte est trop précieux pour qu'on puisse en employer des quantités quelconques.

cuivre de 3 à 5 cm. d'épaisseur; elles sont placées verticalement dans une auge qu'elles divisent en un certain nombre de compartiments. L'auge, à fond incliné, est remplie d'acide sulfurique dilué ; la première plaque est reliée au pôle positif de la source de courant et la dernière plaque au pôle négatif (fig. 2). D'un côté le cuivre se trouve dissout, et la circulation du liquide le porte de l'autre

côté, où le courant le dépose. L'électrolyte qui s'écoule du vase le plus bas de la batterie est remonté par une pompe dans le vase supérieur.

Lagarde réalise d'une autre manière la circulation du liquide dans une pile au bichromate. La figure 3 explique à première vue cette disposition. Une roue à godets puise le liquide écoulé de la pile dans un réservoir, et le reverse continuellement dans les éléments.

Dans l'appareil à blanchiment électrique de E. Hermitte, l'électrolyte est composé d'un mélange de chlorures de calcium et de magnésium et d'hydrate de magnésie dans l'eau. Comme cathode on emploie des disques de zinc parallèles fixés sur un arbre central en zinc. Pendant l'électrolyse ce système de disques est mis en rotation, de façon à imprimer au liquide qui se trouve entre ces disques et les grillages de platine servant d'anodes un mouvement tourbillonnaire très violent. Une pompe centrifuge fait d'ailleurs circuler assez rapidement l'électrolyte dans la série des électrolyseurs. Des couteaux affleurant la surface des disques font tomber la chaux et la magnésie qui s'y deposent. La figure 4 est un schéma de ces électrolyseurs.

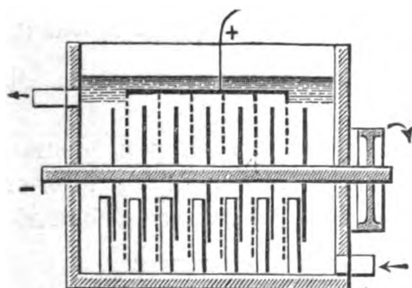


Fig. 4. — Electrolyseur E. Hermitte

Dans les accumulateurs zinc-cuivre de Waddell-Entz, le mélange du liquide est obtenu d'une manière plus simple, mais peut-être insuffisante. Les cathodes reliées au vase en tôle d'acier sont disposées verticalement et parallèlement, de même que les anodes (fig. 5). En chauffant le fond du vase on obtient un mouvement ascendant des couches inférieures de l'électrolyte, mais ce mouvement cesse dès que le volume entier du liquide a atteint une certaine température.

En donnant au vase la forme représentée par la figure 6, on obtient une circulation plus uniforme. Le vase est formé par deux cylindres concentriques réunis au fond et servant de cathode; l'anode est un cylindre placé dans l'espace annulaire du vase. Lorsqu'on fait passer des gaz chauds dans la cheminée centrale les parties du cylindre en contact avec le cylindre intérieur s'échauffent plus vite que les parties périphériques, et une circulation s'établit qui subsiste tant qu'il existe une différence de température entre les parties interne et externe, ce qui peut être réalisé par l'emploi d'un courant d'air froid extérieur.

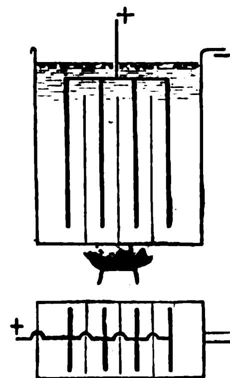


Fig. 5. — Accumulateur Waddell-Entz.

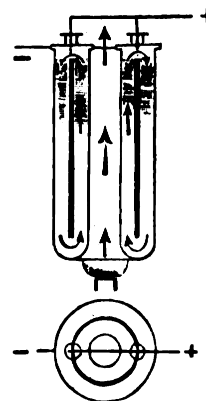


Fig. 6. — Dispositif pour entretenir la circulation du liquide par des courants d'air chaud.

Moins simple est le cas où ne doit être mis en mouvement que le liquide baignant une des électrodes. La figure 7 en est un exemple.

Dans l'accumulateur à cuivre, dont le vase cylindrique est en tôle de fer ou d'acier, les cathodes en tôle sont percées de trous ronds D. En les superposant on forme des canaux verticaux dans lesquels sont placés les tiges E formant anodes, ces tiges, en cuivre oxydé, sont entourées chacune d'un diaphragme de magnésie.

Pour le dépôt régulier du métal il est indifférent que l'électrolyte se meuve autour de l'anode ou non; ce qui importe, surtout pendant la charge, c'est que le liquide vienne baigner régulièrement la cathode. A cet effet se trouve placé au centre du vase un tube de fer B percé de trous à son extrémité inférieure. Le liquide est pompé dans ce tube, descend au fond et remonte dans le vase même à la surface, d'où il est repris par la pompe.

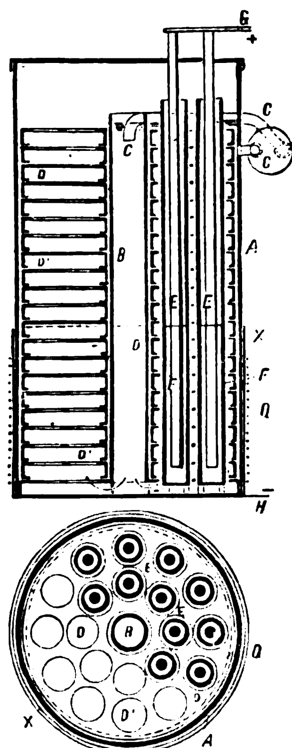


Fig. 7. — Accumulateur à cuivre à circulation.

Mais lorsque les deux électrodes sont entourées d'électrolytes différents, la disposition indiquée par la figure 8 conviendrait mieux. Dans la caisse W, un papier parchemin P est étendu en zig-zag. Le joint, au fond, est assuré par une couche de plâtre. D'un côté du parchemin on place les cathodes K, de l'autre les anodes A. Les deux électrolytes circulent dans le sens indiqué par les flèches.

On a souvent donné aux appareils électrolytiques la forme d'un filtre-presse; mais comme les électrolyseurs ne doivent pas être démontés après chaque opération, on ne voit pas bien le but de cette disposition. La simplicité n'est pas toujours le moins difficile à obtenir,

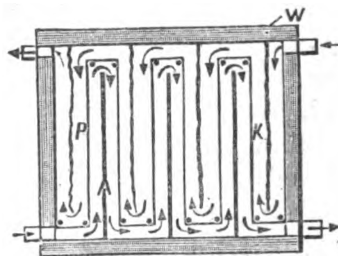


Fig. 8. — Dispositif pour appareil à deux électrolytes.

A ce point de vue, on peut mentionner la méthode employée par Taylor. Pour créer une circulation du liquide dans les batteries d'accumulateurs destinées aux véhicules, ce procédé se base sur le fait qu'avec ces sortes de voitures les arrêts et les démarrages sont très fréquents, et il se sert des effets de l'inertie pour mettre l'électrolyte en mouvement.

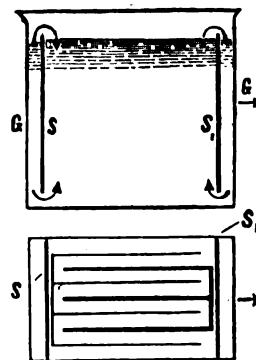


Fig. 9 — Accumulateur Taylor.

Dans le vase rectangulaire G (fig. 9) sont disposées à peu de distance des côtés opposés deux parois S et S_1. Les électrodes sont disposées perpendiculairement à ces parois de séparation. Le niveau du liquide arrive près

du bord supérieur de ces parois. Si le mouvement de translation du vase s'accélère, par exemple, dans la direction de la flèche, il se forme une onde liquide qui s'élève par-dessus la paroi S. Une partie du liquide de la surface entre donc dans le compartiment étroit formé par la paroi R et celle du vase ; un égal volume de liquide est alors chassé par en bas de ce compartiment dans le grand compartiment compris entre S et S_1. Si le mouvement de translation s'arrête brusquement, une onde liquide jaillit par-dessus la paroi S_1 et crée une circulation analogue.

Le mode d'action de cette disposition est, on le voit, ingénieux et simple. Pour la charge d'une batterie de ce genre, le mouvement nécessaire est créé artificiellement en plaçant les

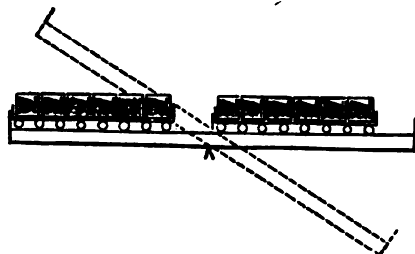


Fig. 10. — Banc de chargement de l'accumulateur Taylor.

éléments sur un plancher pouvant recevoir un mouvement de bascule (fig. 10). Les éléments sont posés sur des plates-formes roulantes dont le choc contre les montants produit une onde dans chaque vase.

Sur les piles électriques

Le nombre de personnes qui s'occupent encore de la question des piles électro-chimiques et de leurs applications est beaucoup plus grand qu'on ne le croit généralement. Nous trouvons dans le journal italien l'*Elettricita,* les renseignements suivants sur une nouvelle pile au chlore inventée par M. Santarello Ettore. C'est une modification intéressante de la pile au chlore déjà existante.

Elle se présente sous la forme d'une boîte parallélipipédique imperméabilisée, haute de 23 cm., large de 30 cm. et longue de 35 cm. Elle est fermée hermétiquement par un couvercle en bois. Dans celui-ci sont pratiquées 20 ouvertures circulaires (fig. 1) dans lesquelles sont fixés, au moyen de paraffine, 20 cylindres creux en charbon, ayant 200 mm. de hauteur et 55 mm. de diamètre; ces charbons dépassent le couvercle d'environ 1 mm. ; ils sont séparés par un intervalle de 1 cm. et isolés avec soin les uns des autres.

Au fond de la pile, il y a un robinet de verre

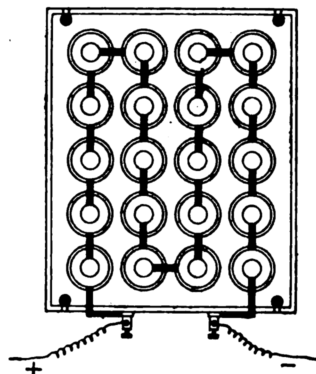


Fig. 1. — Pile au chlore. Montage.

qui sert à recueillir la solution ammoniacale qui filtre à travers le vase en charbon.

Les zincs amalgamés ont la forme de petits cylindres creux, dans lesquels sont percés quelques petits trous remplis de rognures de zinc, aussi amalgamées. Le tout repose sur

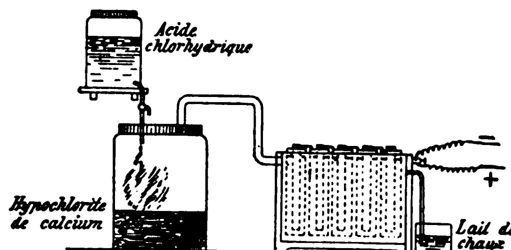


Fig. 2 — Pile au chlore. Disposition générale.

une coupe en porcelaine qui se trouve au centre du cylindre de charbon ; cette coupe contient quelques gouttes de mercure, pour entretenir l'amalgamation du zinc; elle empêche, en outre, les électrodes de se toucher.

Le liquide excitateur est une solution presque saturée de chlorhydrate d'ammoniaque ; le dipolarisant est du chlore gazeux qui est produit par de l'acide chlorhydrique qui tombe goutte à goutte sur de l'hypochlorite de cal-

cium (chlorure de chaux du commerce) qui se trouve dans un vase d'assez grandes dimensions, placé près de la pile.

Le chlore entre dans l'auge de la pile à un des angles supérieurs; à la partie opposée, le peu de chlore qui n'a pas été absorbé s'échappe par un tube de verre et est absorbé dans un vase rempli de lait de chaux.

La partie des cylindres de charbon qui dépasse l'extérieur de la pile est soigneusement métallisée et sert à établir les contacts. Les éléments sont montés en tension, comme on peut le voir sur les figures.

Cette pile présente plusieurs avantages :

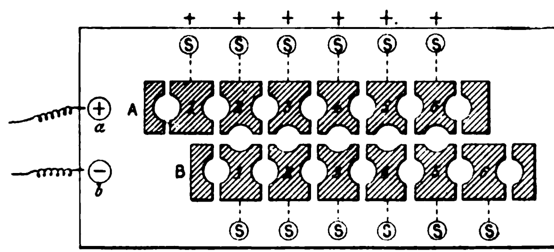


Fig. 3. — Commutateur pour piles électriques.

facilité de construction, faibles dimensions, économie et bas prix des produits chimiques employés, le chlore étant produit directement et la solution ammoniacale se régénérant constamment; facilité de manutention et de montage; grande force électromotrice et faible résistance.

Une batterie des dimensions indiquées au commencement de cet article contient 20 éléments et la force électromotrice totale est de 50 volts. Elle a pu servir à l'éclairage de plusieurs pièces au moyen de lampes de 16 bougies. Elle ne se polarise pas; elle peut être employée avec avantage pour des petites installations de lumière, pour la charge des accumulateurs, pour la mise en marche de petits moteurs, pour les voitures auto-mobiles et pour les bateaux électriques.

Le même journal contient la description d'un commutateur destiné au groupement des éléments de pile, inventé par M. Tomasini Francesco.

La figure 3 représente cet appareil qui rappelle, dans sa forme générale, les commutateurs en usage dans les télégraphes.

La figure 4 indique l'emploi de ce commutateur pour grouper tous les éléments en quantité; dans la figure 5, tous les éléments

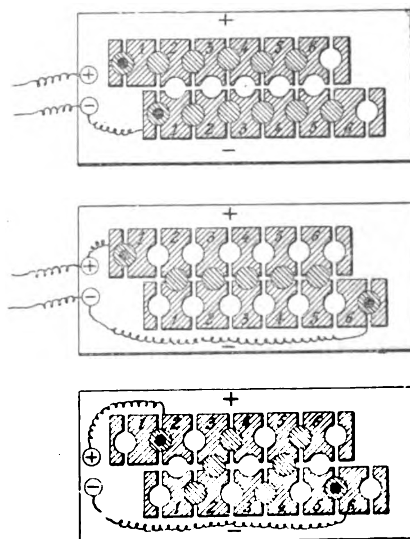


Fig. 4, 5, 6. — Groupements divers des éléments réalisés avec le commutateur.

sont groupés en tension; enfin, dans la figure 6, la batterie est partagée en trois groupes montés en tension de deux éléments montés en quantité.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Errata des nos 1, 2, 3

P. 40 : La troisième formule de la première colonne doit être

$$L' = L + l\sqrt{\frac{\mu R}{2pl}}$$

P. 41 : Dans la première formule de la seconde colonne le terme $1 + k$ du dénominateur doit être remplacé par $1 - k$.

P. 80. — L'ordre des renvois (2) et (3) a été interverti.

P. 87, col. 2, ligne 5 du texte en remontant: remplacer R par K.

P. 88, col. 1 : remplacer dans les dernières lignes du texte, V_e et K_e par V_i et K_i.

P. 139 : Au lieu de M. Bayard, lire M. Bagard.

Transmission des signaux à travers l'espace, par W. H. Preece (1).

Dans cette intéressante communication, l'auteur démontre la possibilité de transmettre des signaux à travers l'espace au moyen des phénomènes d'induction se produisant entre deux lignes télégraphiques assez éloignées, dont l'une est traversée par un courant variable et l'autre est reliée à un téléphone sensible.

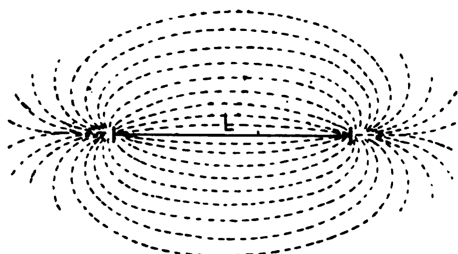


Fig. 1. — Distribution des courants dans la terre. Coupe horizontale.

« Mon attention, dit-il, a été dirigée pour la première fois sur ce sujet en 1884. En 1886, j'en entretenais l'Association, à Birmingham et, l'année suivante, à Manchester. En avril 1893, j'exposais, devant le Congrès d'électricité tenu à Chicago, l'ensemble de mes travaux pendant les neufs années précédentes. Mais beaucoup de nouvelles expériences ont été faites pendant ces 12 derniers mois. En 1884, des perturbations électromagnétiques purent être mises en évidence entre des circuits télégraphiques et des circuits téléphoniques, distants de 80 pieds environ et placés, les premiers dans le sous-sol des rues de Londres, les seconds sur les toits des maisons. En 1885, ces effets furent perceptibles entre deux lignes télégraphiques parallèles distantes de 10,25 miles. La perméabilité des murs et constructions en pierre avait déjà été démontrée en 1842, par Henry, qui constata que des décharges d'une bouteille de Leyde placée dans le grenier de sa maison donnaient naissance à des étincelles dans un circuit placé dans la cave. En 1886, on observa qu'il était possible de produire des vibrations sonores dans un circuit téléphonique, placé dans le sous-sol de l'Hôtel des Postes, par l'induction d'un circuit excité par la parole et situé dans le corridor supérieur à une distance de 80 pieds du premier. En 1893, des télégrammes furent transmis à une distance de 31 miles à travers le canal de Bristol. L'hiver dernier, des communications régulières furent établies à une distance de 1,25 mile, entre deux rives du lac Ness, et, récemment à une plus grande distance entre Arran et Kintyre de part et d'autre du détroit de Kilbrannan. Entre les rives du lac Ness la parole pouvait être transmise.

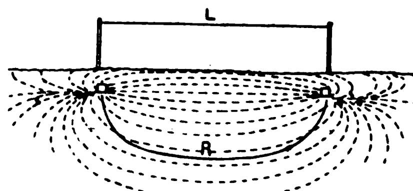


Fig. 2. — Distribution des courants dans la terre. Coupe verticale.

« Mais ce n'est pas tout, car il y a lieu de croire que nous avons obtenu dans nos lignes télégraphiques des perturbations dues aux grands orages électriques de la photosphère solaire dont la distance est d'environ 92 000 000 miles. »

Ces expériences prouvent bien la possibilité de transmettre des signaux à distance; mais, comme les circuits employés étaient entièrement métalliques et bien isolés elles n'apprenaient rien sur le rôle que joue la terre lorsque celle-ci est employée comme circuit de retour. Pour élucider ce point, des expériences furent faites par MM. Gavey et Kempe, en 1893, sur l'estuaire Conway et, en 1894, à Frodsham sur

(1) Communication faite au Meeting d'Oxford de l'Association Britannique.

l'estuaire de la Dee. D'autres expériences furent également faites par MM. Garey et Cooper entre les rives du lac Ness, à une distance de 1,25 mile, et entre l'île de Arran et Kintyre, à une distance de 4 à 5 miles.

A l'estuaire Conway et à Frodsham, des fils recouverts formaient des carrés et des rectangles; de nombreuses mesures furent faites, à l'aide de galvanomètres à réflexion et de téléphones, pour des distances variables des circuits primaires et secondaires. Au lac Ness, deux fils parallèles étaient tendus le long des rives opposées. Entre Arran et Kyntyre, la disposition était la même; mais, en outre, deux fils entourés de gutta étaient tendus le long de chacune des deux côtes, à une hauteur de 500 pieds environ au-dessus du niveau de l'eau et sur une longueur de 5 miles.

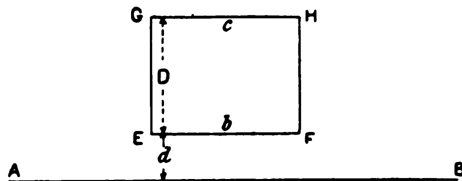


Fig. 3.

Les résultats de ces diverses expériences peuvent se résumer ainsi : La terre agit simplement comme un conducteur ; elle est, par elle-même, assez mauvaise conductrice et doit sa conductibilité principalement, et souvent même uniquement, à son humidité. Comme d'ailleurs la résistance entre deux plaques de terre bien établies est pratiquement nulle, il faut admettre que la masse de terre qui forme un circuit de retour est extrêmement considérable. En admettant que cette masse est homogène, les lignes de courants qui la traversent forment des hémisphéroïdes dont les figures 1 et 2 représentent une coupe horizontale et une coupe verticale.

Mais cette masse hémisphéroïdale servant de circuit de retour peut être remplacée au point de vue électrique par un conducteur de forme et de dimensions déterminées, représenté dans la figure 2 par la ligne R. Les expériences de Frosham avaient principalement pour but de mesurer les données nécessaires à l'estimation de la forme et de la position de ce conducteur fictif. D'après leurs résultats, le conducteur fictif se trouve à une profondeur moyenne de 300 pieds à Frodsham, de 350 pieds à Conway et à une profondeur de 900 pieds au lac Ness et à l'île Arran. Dans ces diverses stations, la distance des plaques de terre augmentait de la première à la dernière ; la profondeur du conducteur de retour fictif augmente donc avec cette distance.

Il résulte de là qu'un fil, tendu au dessus du sol et relié à la terre par ses deux extrémités, agit comme un circuit fermé dont le contour embrasse une surface d'autant plus grande que le fil est suspendu à une plus grande hauteur au-dessus du sol. Un tel circuit est assimilable à l'une des bobines de l'appareil que

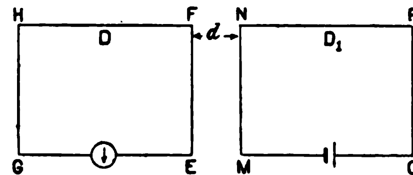


Fig. 4.

l'on emploie pour démontrer les lois de l'induction. Si donc deux semblables circuits sont disposés parallèlement à quelque distance ils s'induiront mutuellement et lo'n conçoit que l'on puisse s'en servir pour la transmission des signaux. En outre on conçoit également que la distance à laquelle ils pourront s'induire mutuellement doit augmenter en même temps que les dimensions de ces circuits et c'est ce qu'ont montré les expériences.

Ainsi que l'auteur le fait remarquer, le mécanisme de cette transmission de signaux est analogue à celui de la transmission de la lumière entre une source lumineuse et l'œil d'un observateur. Dans ce dernier cas les mouvements des molécules matérielles de la source produisent des vibrations rapides de l'éther environnant qui se propagent avec une très grande vitesse jusqu'à l'œil de l'observateur où leur énergie vibratoire est transformée en une forme d'énergie capable d'exciter nos

nerfs. Dans les expériences précédentes, l'énergie des courants primaires donne naissance à des ondes électriques qui se meuvent dans l'éther avec la même vitesse que les vibrations lumineuses jusqu'à ce qu'elles rencontrent le secondaire qui, s'il est de dimensions convenables, devient le siège de courants de mêmes périodes que les courants primaires.

Il résulte de cette explication que, si l'on place un téléphone dans le circuit secondaire, la hauteur du son rendu par ce téléphone doit dépendre du nombre des alternances du courant primaire. Par conséquent, à l'aide de certaines conventions, analogues à celles du code Morse, on peut utiliser ces phénomènes à la transmission des messages. C'est ce qui a été fait à plusieurs reprises, comme on l'a déjà dit, et l'auteur ne désespère pas de pouvoir appliquer ce mode de transmission entre la France et l'Angleterre.

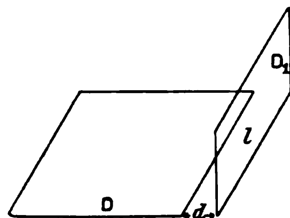


Fig. 5.

M. Preece va même plus loin. Il envisage la possibilité de lancer ainsi des messages à travers l'espace ! En tout cas, il n'est pas seul à admettre que les orages magnétiques terrestres sont dûs, au moins partiellement, à des phénomènes électriques ayant pour siège la photosphère solaire, et il cite à ce sujet plusieurs observations qui confirment cette opinion.

Dans un appendice à cette communication, M. Preece indique les formules qui lui ont servi au calcul de la forme et de la profondeur du conducteur fictif qui peut remplacer la masse de terre hémisphéroïdale traversée par les courants de retour.

Soient A B (fig. 3) un fil de longueur indéfinie et b et c deux fils de longueurs finies, formant deux des côtés d'un circuit rectangulaire E F G H. Si un courant est lancé dans AB, les lignes de force coupant E F et G H produiront dans le circuit rectangulaire, un courant mettant en jeu une quantité d'électricité :

$$Q = K\,[\log(D+d) - \log d] = K \log \frac{D+d}{d},$$

K étant une constante dépendant de la longueur des côtés b et c, de l'intensité du courant dans A B et de la résistance totale du circuit rectangulaire.

Entre certaines limites, cette formule est approximativement correcte, même si le fil A B n'est pas indéfini et forme un côté d'un rectangle semblable au rectangle secondaire, les plans de ces rectangles étant parallèles ou perpendiculaires entre eux. Toutefois, dans ces cas, il faut tenir compte du second côté du circuit inducteur et la formule doit être corrigée comme il suit.

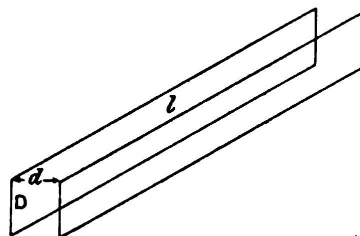


Fig. 6.

Avec deux rectangles dans le même plan, comme dans la figure 4, l'effet total, produit par les deux côtés M N et O P du circuit inducteur, est

$$Q_1 = K \left\{ \log \frac{D+d}{d} - \log \frac{D_1+d+D}{D_1+d} \right\}$$

Si les deux rectangles sont perpendiculaires, comme le représente la figure 5, et si le côté l est grand par rapport à D, la formule devient

$$Q_2 = K \left\{ \log \frac{D+d}{d} - \frac{1}{2} \log \frac{D_1^2 + (D+d)^2}{D_1^2 + d^2} \right\}$$

Enfin, si les deux rectangles sont parallèles, et égaux (fig 6) et si l est très grand par rapport à D, on a

$$Q_3 = K \left\{ \log \left(\frac{D^2}{d^2} + 1 \right) \right\}$$

Ces diverses formules tiennent compte des effets sur les fils secondaires qui sont parallèles aux fils primaires, mais non sur ceux qui sont perpendiculaires. Ces derniers effets sont opposés aux premiers, de sorte que, en réalité, le courant diminue avec la distance plus rapidement que ne l'indiquent les formules précédentes.

En somme, la solution complète du problème est difficile, mais M. Kempe, qui s'est occupé de la partie mathématique de la question, espère pouvoir l'obtenir.

I. B.

Sur certaines conditions à réaliser pour la mesure des résistances électriques au moyen des courants alternatifs et du téléphone, par R. Colson (¹).

« Les résultats que j'ai trouvés en étudiant la propagation et les interférences d'ondes électriques de basse fréquence (²) donnent lieu à des conséquences importantes, parmi lesquelles je signalerai ici ce qui est relatif à

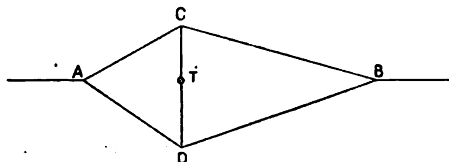


Fig. 1. — Mesure des résistances électriques au moyen du téléphone.

l'emploi des courants alternatifs et du téléphone pour la mesure des résistances.

« On sait que cette méthode consiste à lancer des ondes électriques périodiques dans un pont de Wheatstone par les extrémités A et B, et à rendre égaux à chaque instant les potentiels des points C et D, ce que l'on constate par l'extinction du son d'un téléphone T intercalé entre C et D. Les conducteurs formant les branches du pont doivent d'ailleurs être dépourvus de self-induction et de polarisation. Le fonctionnement de ce système donne lieu aux remarques suivantes :

« 1° La proportion des quatre branches qui constitue la propriété du pont équilibré, repose sur la loi de Ohm, c'est-à dire sur une décroissance du potentiel proportionnelle à la résistance. Or, cette loi n'est plus admissible que dans certaines conditions pour la propagation d'ondes à haut potentiel, comme celles de la bobine d'induction, dans des résistances considérables, telles que celles de fils imprégnés de dissolutions salines (chlorure de calcium par exemple) ou de tubes capillaires contenant de l'eau. Je l'ai constaté expérimentalement. Le potentiel décroît d'abord très rapidement, puis l'écart avec la loi de Ohm diminue lorsque la distance franchie par l'onde augmente; la décroissance est plus rapide lorsque le potentiel est plus élevé ou lorsque la résistance est plus grande.

« Il est vrai que, au lieu de s'appuyer sur la proportion des quatre branches, on peut opérer par substitution dans une seule, BD par exemple, de façon que le potentiel en D reste égal à celui de C. L'affaiblissement de potentiel de B à D est le même dans les deux cas, mais il n'est encore possible d'en conclure l'égalité des deux résistances que si, pour elles, la loi de Ohm est satisfaite.

« 2° Le potentiel, en chacun des points C et D, résulte de deux ondes de signes contraires venant de A et de B en sens contraires.

« Si le point C, par exemple, est tel que ces deux ondes y passent en même temps et avec des potentiels égaux en valeur absolue, il y a là potentiel nul et ce que j'ai appelé point neutre (Note du 14 novembre 1892); un téléphone, dont une borne est en contact avec C et dont l'autre est isolée, est réduit au silence.

« Si les deux ondes y passent en même temps, mais avec des potentiels différents en valeur absolue, ceux-ci donnent lieu à un potentiel résultant dont la variation détermine

(¹) *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 1261; 31 décembre 1894.

(²) Séances des 15 février 1892; 14 novembre 1892; 8 mai 1893.

dans le téléphone un son de même hauteur que celui de la source vibratoire.

« Si les deux ondes n'y passent plus en même temps, et si leurs passages sont assez écartés pour produire dans le téléphone des effets distincts, celui-ci rend un son dont le nombre de vibrations est double de celui de la source.

« Ces différents cas se présentent de même au point D ; de sorte que, en définitive, il y a à prévoir la combinaison de l'une quelconque des conditions de C avec une quelconque de D ; il n'y aura réellement silence du téléphone que si les conditions de C et de D sont identiques. L'une d'elles est facile à réaliser ; c'est celle de la région neutre, où le potentiel *résultant* est nul. Pour cela, on prend les branches AC et CB telles que le point C se forme dans cette région neutre ; de même ensuite pour D. Le téléphone intercalé T est alors muet. On y trouve, de plus, l'avantage d'opérer ainsi dans une région où le potentiel s'écarte toujours moins de la loi de Ohm que près des extrémités A et B.

« 3° L'onde qui, partie de A, a franchi ACB, envoie dans BD une perturbation qui complique ce qui se passe en D. Supprimons les liaisons CT, AD et celle de B avec la source ; puis relions B avec une bobine identique à celle de la source, pour ne pas changer la capacité en relation avec B. Si le téléphone est muet, c'est que les variatons du potentiel en D, provenant de A par le chemin ACBDT, sont insuffisantes pour produire le trouble en question. Si le téléphone rend un son, il faut ou augmenter les résistances ACB, ou diminuer le potentiel en A soit en agissant sur la source, soit en introduisant dans le tronc commun avant A une résistance additionnelle. On opère de même pour les trois autres chemins.

« 4° Il faut examiner, en outre, si l'onde qui revient en C, par exemple, après avoir traversé tout le circuit, apporte aussi une complication. Pour cela, on ajoute à la suite de C les résistances du circuit complet, et l'on met en contact avec l'extrémité une borne du téléphone. S'il rend un son, il faut augmenter les résistances ou diminuer le potentiel.

« *Conclusion.* — On se rend compte ainsi de certaines erreurs graves auxquelles est sujet ce procédé de mesure des résistances, et l'on met en évidence les précautions qui permettent de s'en affranchir. »

Force électromotrice d'aimantation, par D. Hurmuzescu (¹)

On sait que, si l'on plonge dans un liquide acide deux électrodes magnétiques inégalement aimantées, il se produit une force électromotrice. D'après les recherches théoriques de M. Janet et de M. Duhem, l'électrode la plus fortement aimantée doit être à un potentiel plus élevé que l'autre. Divers expérimentateurs ayant trouvé des résultats opposés, l'auteur a fait quelques expériences sur ce sujet.

Il emploie des électrodes en fil ayant 1 mm. de diamètre, obtenus à la Wollaston. Elles sont plongées dans les branches verticales d'un tube en U contenant une dissolution très étendue d'acide acétique ou d'acide oxalique dans de l'eau distillée bien privée d'air. L'une des branches était placée entre les pièces polaires d'un puissant électro-aimant. La mesure de la force électromotrice E était faite au moyen d'un électromètre capillaire ; celle de l'intensité H du champ s'effectuait par la méthode du galvanomètre balistique ; le calcul de l'intensité d'aimantation I se faisait par la formule

$$I = \frac{kH}{1 + 2\pi k},$$

que l'on obtient pour des fils cylidriques et infiniment longs.

Théoriquement la force électromotrice E devrait avoir pour valeur

$$E = \frac{l}{2\delta}\frac{I^2}{k} - \frac{l'}{2\delta'}\frac{I'^2}{k'}, \qquad (1)$$

l et δ, l' et δ' étant les valeurs de l'équivalent électrochimique et du poids spécifique dans l'électrode considérée et dans le sel formé par

(¹) *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 1006, 10 décembre 1894.

la réaction chimique; k et k' des valeurs moyennes de la susceptibilité magnétique dans l'électrode et dans le liquide.

Les expériences faites par l'auteur sur le *fer* ont fourni des résultats dont les courbes représentatives satisfont au moins qualitativement à la formule

$$E = \frac{l}{2\delta} \frac{I^2}{k}$$

qui n'est autre que la formule (1) où I'^2 est négligé devant I^2.

Pour le *nickel*, la courbe des forces électromotrices en fonction du champ présente la même allure et le même sens que pour le fer, sans cependant présenter le point d'inflexion que l'on observe avec ce dernier métal; pour des champs magnétiques moyens, cette force électromotrice ne dépassait pas le millième de volt.

Pour le *bismuth*, l'électrode aimantée est négative par rapport à celle non aimantée, la force électromotrice obtenue pour les plus forts champs ne dépassait pas quelques dix-millièmes de volt.

Avec le fer, l'auteur a quelquefois obtenu des résultats inverses lorsque l'électrode était disposée parallèlement à la direction du champ magnétique; il parvient à les expliquer au moyen de la formule (1) en tenant compte de l'aimantation de la dissolution qui par suite de l'attaque des électrodes, contient du fer.

Ainsi donc, si l'on tient compte du magnétisme du sel de fer formé par la réaction chimique, le fer aimanté devient, dans tous les cas, positif par rapport au fer non aimanté; de même pour le nickel, et ce serait le contraire pour le bismuth.

J. B.

Sur la capacité électrostatique d'une ligne parcourue par un courant, par Vaschy [1]

La définition de la capacité électrostatique suppose l'équilibre électrique établi à la surface des conducteurs; par suite, comme l'ont fait remarquer plusieurs savants [1], la notion de capacité par unité de longueur d'un conducteur cylindrique traversé par un courant n'a aucune signification précise. M. Vaschy démontre que, si l'on appelle *capacité par unité de longueur d'un câble en un point le rapport de la charge Q_1 du fil par unité de longueur à la différence de potentiel V_1 qui existe entre le point du fil considéré et l'armature concentrique*, cette capacité a la même expression que la capacité électrostatique du câble considéré comme un condensateur, dans le cas où le courant est *permanent*.

On sait, en effet, que la capacité électrostatique d'un condensateur cylindrique est

$$C = \frac{\mu}{2\,(\text{Log}\,R_2 - \text{Log}\,R_1)}, \qquad (1)$$

R_1 et R_2 étant les rayons des armatures interne et externe, μ le pouvoir inducteur du diélectrique interposé et Log le symbole des logarithmes néperiens.

D'autre part, si le fil est parcouru par un courant permanent de densité constante, le potentiel, en un point de la section droite située à une distance x de la section de potentiel nul, est

$$V_1 = ax.$$

Dans le diélectrique environnant, le potentiel doit satisfaire à l'équation de Laplace

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = o,$$

et, en même temps, s'annuler en tout point de la surface de séparation de ce diélectrique et de l'armature externe ($r = R_2$) et prendre la valeur ax aux points de surface de contact du diélectrique et de l'armature interne ($r = R_1$). La fonction qui satisfait à ces conditions est

$$V = ax \frac{\text{Log}\,R_2 - \text{Log}\,r}{\text{Log}\,R_2 - \text{Log}\,R_1}. \qquad (2)$$

Par suite on aura pour la densité électrique à la surface du fil,

$$\sigma_1 = -\frac{\mu}{4\pi}\left(\frac{dV}{dr}\right)_{r=R_1} = \frac{\mu ax}{4\pi R_1} \frac{1}{\text{Log}\,R_2 - \text{Log}\,R_1}$$

[1] *Comptes Rendus*, t. CXIX, p. 1198, 24 décembre.

[1] POTIER. Sur la propagation du courant dans un cas particulier. *Comptes Rendus*, t. CXVIII, p. 327; 1894. — *La Lum. élect.*, t. LI, p. 502.

et pour la capacité, définie comme il a été dit plus haut,

$$C = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{2\pi R_1 \sigma_1}{ax} = \frac{\mu}{2(\operatorname{Log} R_2 - \operatorname{Log} R_1)}, \qquad (3)$$

expression qui est bien la même que celle de la capacité électrostatique (1).

Mais la forme des surfaces équipotentielles n'est pas la même. Dans le cas où le câble est en équilibre électrique, ces surfaces sont des cylindres concentriques. Dans le cas où le câble est parcouru par un courant permanent, la formule (2) montre qu'elles sont formées par une section droite du fil et par une nappe, de révolution autour de l'axe du fil, partant de cette section et asymptote au cylindre de rayon R_2; la surface de potentiel zéro se compose de la section droite $x = o$ du fil et de la surface interne de l'armature. Toutefois, ainsi que le montre l'auteur dans un cas particulier, les nappes de révolutions se confondent sensiblement avec des surfaces cylindriques.

Le même raisonnement est applicable aux lignes électriques aériennes. Il s'étend d'ailleurs au cas où le courant, au lieu d'être permanent, est *lentement* variable, quoique alors il ne soit pas rigoureusement exact. Mais lorsque les variations du courant sont très rapides, *on ne peut plus supposer que le champ électrique admet un potentiel*, même approximativement et la notion de capacité définie ci-dessus disparaît.

J. B.

Etude bolométrique des étalons photométriques, par Clayton, H. Sharp et W. R. Turnbull(1)

Les méthodes photométriques ordinaires ne permettent pas de reconnaître si l'intensité lumineuse des sources de lumière ordinairement employées présente des fluctuations rapides et, dans le cas où de telles fluctuations existeraient, elles ne donnent que l'intensité moyenne de la source pendant un certain intervalle de temps, plus ou moins long suivant la sensibilité de l'œil de l'observateur. Au contraire un appareil bolométrique bien construit est sensible aux fluctuations, même très rapides, de l'intensité de la radiation qui tombe sur lui. Il est vrai que le bolomètre mesure l'énergie totale de la radiation et non son énergie lumineuse, la seule qui importe dans le cas des étalons photométriques. Mais comme il est à peu près certain que toute variation de l'énergie totale est accompagnée d'une variation de l'énergie lumineuse, une étude bolométrique de ces étalons peut nous fournir des renseignements importants sur le degré de constance de ces étalons. Une étude de ce genre a été faite il y a quelques années par Lummel et Kurlbaum (1); MM. Sharp et Turnbull, mettant à profit les travaux de ces expérimentateurs, ont cherché à donner à leurs mesures une très grande précision.

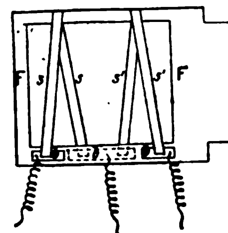


Fig. 1. — Disposition des bandes bolométriques

Après quelques essais infructueux avec des feuilles d'or recouvertes de nickel, des feuilles de nickel pur et des feuilles d'étain très minces, les auteurs se sont servis de rubans minces de fer pour la construction de leur bolomètre. Ces bandes étaient obtenues en laminant un fil de fer de Suède (n° 30 de la jauge B et S) de manière à obtenir une bande de 1,5 mm. de large et de 0,045 mm. d'épaisseur; cette épaisseur était réduite ensuite à 0,025 mm. en attaquant les bandes par de l'acide sulfurique étendu, auquel était ajouté du bichromate de potassium pour absorber l'hydrogène à mesure qu'il se formait et éviter que ce gaz, en s'attachant aux bandes, ne rende l'attaque de celles-ci irrégulière.

(1) *Physical Review*, t. II, p. 1-35, 1894.

(1) LUMMER et KURLBAUM. *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 204.

Deux bandes d'environ 6 cm. de longueur étaient disposées, comme l'indique la figure 1, sur une légère monture de bois F; leurs extrémités étaient fixées à des petits morceaux de laiton *t* auxquels étaient attachés les fils servant aux connexions. La bande qui devait être soumise aux radiations était recouverte de noir de fumée sur ses deux faces; pour effectuer cette opération sans détruire la bande, on plaçait une plaque métallique percée d'un trou sur une bougie et on déplaçait lentement la bande dans la fumée suffisamment refroidie qui s'échappait du trou.

La disposition donnée aux bandes *s* et *s'*

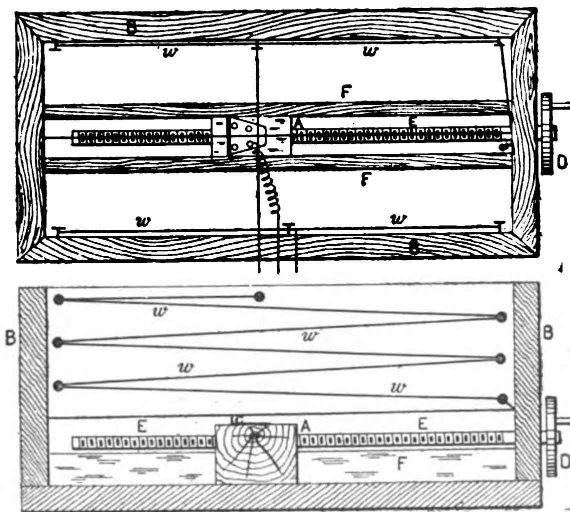


Fig. 2. — Résistance à curseur.

permettait d'utiliser la longueur presque entière, les deux moitiés ne se recouvrant que sur une faible portion. Pour augmenter encore la sensibilité de l'appareil, on plaçait, à une petite distance derrière la monture F, une plaque d'étain qui diffusait la radiation sur le côté de la bande qui ne recevait pas directement cette radiation. Cette plaque était soudée à un assez gros bloc de cuivre pour éviter qu'elle ne s'échauffât; la chaleur se transmettait par conductibilité à travers le cuivre jusqu'à une large plaque d'étain soudée au bloc de cuivre et située dans l'air en dehors de la boîte de bois renfermant les bandes de fer. Bien entendu l'une de ces bandes était protégée, par des écrans de carton convenablement disposés, contre les radiations affectant l'autre bande.

Les deux bandes *s* et *s'* formaient deux branches d'un pont de Wheatstone. La résistance de compensation formant la troisième branche était constituée par un fil d'argent allemand *w* (fig. 2) tendu dans une boîte en bois B. Un contact glissant C, fixé à un bloc de bois A maintenu par deux règles FF et traversé par une vis E, pouvait être déplacé au moyen d'une roue D. Dans les connexions des diverses parties du pont, les plus grandes précautions étaient prises pour éviter la formation de forces électromotrices thermoélectriques parasites.

La pile était formée de deux éléments à gravité montés en série; l'un de ses pôles était relié à l'une des extrémités de chacune des bandes bolométriques; l'autre était relié au contact glissant.

Le galvanomètre était du type à quatre bobines; son système magnétique était formé de quatre petits aimants en fil de piano et il était suspendu, ainsi que le miroir, par une fibre de quartz; son amortissement produit par la résistance opposée par l'air au mouvement de la partie mobile était très grand.

La sensibilité de l'appareil était telle que, quand les bobines du galvanomètre étaient disposées deux à deux en dérivation et chaque paire en série, une déviation de 1 division de l'échelle correspondait à une variation de 0° 00657 C de la température. Le dixième d'une division pouvant être facilement apprécié, on pouvait donc mesurer une variation de 0°,00066 C, variation à laquelle correspondait un courant de 68×10^{-11} ampères dans le galvanomètre. Une sensibilité beaucoup plus grande a été atteinte dans les recherches bolométriques par d'autres expérimentateurs, mais la précédente était bien suffisante pour le but que s'étaient proposés les auteurs. D'ailleurs elle pouvait être doublée en disposant en série toutes les bobines du galvanomètre, et c'est ce qui a été fait dans quelques expériences.

Le bolomètre, la résistance de compensation et la pile étaient placés à l'intérieur d'une chambre en briques épaisses ne communiquant avec la chambre extérieure que par une porte D (fig. 3). La boîte bolométrique B recevait les radiations de la source lumineuse C par un trou percé dans cette porte et qui pouvait être fermé par un écran à doubles parois S. La résistance de compensation B′ pouvait être manœuvrée de l'extérieur. On obtenait ainsi une température constante des appareils pendant la durée d'une expérience. On s'arrangeait d'ailleurs pour que la température de la chambre extérieure ne varie pas trop, car dans cette chambre se trouvaient le galvanomètre et une boîte de résistances qui, mise en dérivation avec la bande du bolomètre destinée à recevoir les radiations, servait à déterminer la sensibilité de l'instrument.

Les plus grandes précautions étaient prises pour rendre les observations précises et comparables entre elles. Les expériences étaient faites de 7 heures du soir à minuit, alors que tout bruit avait cessé dans le laboratoire et son voisinage. La sensibilité de l'appareil était mesurée à plusieurs reprises au commencement de chaque séance; si cette sensibilité variait un peu par suite de variations dans le champ magnétique terrestre ou si la position de repos de la partie mobile du galvanomètre se déplaçait de plus de deux dixièmes de division de l'échelle, aucune mesure n'était faite. Les mesures consistaient à observer les déviations du galvanomètre; un des expérimentateurs était chargé de ce soin pendant que l'autre notait les déviations lues à haute voix par le premier. A la fin de chaque séance et souvent même pendant la durée des mesures, la sensibilité de l'instrument était de nouveau déterminée. Généralement la sensibilité n'était pas la même; les déviations notées étaient corrigées de cette cause d'erreur en admettant que la variation de sensibilité était proportionnelle au temps. Une correction analogue était faite pour tenir compte du déplacement du zéro et enfin, pour rendre les résultats comparables entre eux, on déduisait des résultats ainsi corrigés ceux qu'on aurait obtenus si, dans tous les cas, la source lumineuse eût été à la même distance du bolomètre.

La bougie anglaise, la bougie allemande, la lampe Hefner, la lampe Carcel et l'écran Methven ont été successivement étudiés. Les résultats obtenus sont donnés par 23 courbes, où les temps sont portés en abscisses et les déviations corrigées en ordonnées, et, en outre, par de nombreux tableaux. De leur examen il résulte que l'intensité des radiations présente des fluctuations extrêmement rapides qui, à l'exception de celles de la lampe Carcel, ont une amplitude assez considérable.

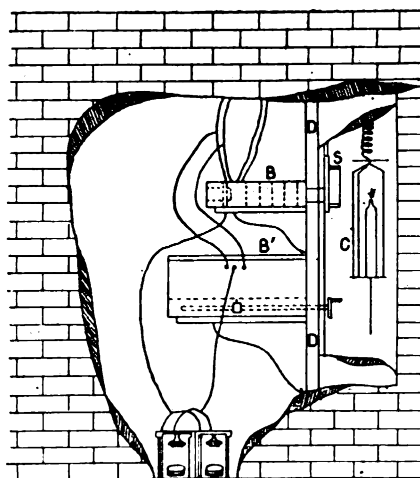


Fig. 3. — Disposition générale des expériences.

Les résultats fournis par l'étude de la bougie anglaise montrent une certaine périodicité dans la variation de l'intensité. Ces variations sont d'ailleurs souvent très considérables et, dans certains cas, atteignent 46,5 pour cent de l'intensité moyenne.

Les fluctuations de la bougie allemande sont moins grandes; leur valeur maximum est de 24 pour 100 de l'intensité moyenne.

Ces résultats indiquent, disent les auteurs, qu'il serait futile d'essayer d'obtenir des mesures photométriques concordantes avec des bougies brûlant librement, à moins de prendre de nombreuses séries de mesures. La bougie allemande est, sous le rapport de l'amplitude

de la variation, préférable à la bougie anglaise, mais celle-ci, étant moins sujette aux petites variations que la première, paraît cependant constituer un meilleur étalon si l'on a soin de réduire les mesures à une même hauteur de flamme.

L'intensité de la lampe Hefner présente une variation maximum de 22,6 pour 100, mais cette grande déviation est loin d'avoir la même importance que dans le cas des bougies car elle provient d'une variation dans la hauteur de la flamme, hauteur qu'il est facile de maintenir dans d'étroites limites. Les portions de courbes relatives à une même hauteur de flamme ne présentent que de faibles variations d'intensités ne dépassant pas 2 pour 100 de l'intensité moyenne.

En admettant que dans ces trois étalons le rapport de l'énergie lumineuse à l'énergie totale est le même, on peut, des valeurs moyennes des déviations galvanométriques, déduire les intensités lumineuses relatives de deux d'entre eux par rapport au troisième. On trouve

$$\frac{\text{bougie allemande}}{\text{bougie anglaise}} = \frac{50,40}{41,06} = 1,2275$$

$$\frac{\text{lampe Hefner}}{\text{bougie anglaise}} = \frac{38,66}{41,06} = 0,9415,$$

nombres différant peu de ceux trouvés par M. Violle, qui sont respectivement 1,13 et 0,98.

Les variations d'intensité de la lampe Carcel atteignent au plus 18,2 pour 100 de l'intensité moyenne. Ce nombre est évidemment encore considérable, mais l'examen des courbes et des tableaux montre qu'en général l'intensité demeure constante pendant un temps considérable. Ainsi dans une expérience la variation a été moindre que 0,8 pour 100 pendant 35 minutes.

L'écran Methven, employé avec un brûleur Argand, donnait lieu à des variations d'intensité semblant présenter une certaine périodicité et en tout cas, beaucoup plus grandes que celles de l'intensité de la lampe Carcel.

L'emploi d'une cheminée de verre dans ces deux derniers étalons ne permet pas d'admettre que le rapport de l'énergie lumineuse à l'énergie totale est le même que dans le cas des bougies et de la lampe Hefner ; on ne peut donc déduire des déviations bolométriques l'intensité lumineuse relative de l'un de ces étalons par rapport à la bougie.

En résumé, il résulte de la longue discussion à laquelle se livrent les auteurs sur les résultats de leurs expériences que la lampe Carcel constitue l'étalon photométrique le plus constant de ceux qu'il ont étudiés.

J B.

CORRESPONDANCE

Paris, le 30 janvier 1895.

Monsieur le Directeur,

A l'occasion du récent article de M Malagoli, permettez-moi de rapporter ici que les champs tournants alternatifs sont connus depuis longtemps ; le champ produit par le courant d'armature d'un alternateur est précisément un champ de cette espèce, et on sait qu'il produit dans un circuit fixe, tel que le circuit des inducteurs, une *force électromotrice alternative de fréquence double*. J'ai donné une démonstration expérimentale de ce fait dès 1891 (*Lum. électr.*, 12 septembre 1891, p. 515 et Bulletin de la Société Internationale des Electriciens, 4 janvier 1893, p. 79) et bien d'autres l'ont énoncé depuis sous des formes différentes. D'autre part, M. Leblanc, dans son théorème exposé si clairement par le regretté Géraldi, a montré que le flux tournant alternatif est équivalent à un flux fixe, plus un flux tournant de fréquence double, ce qui conduit à la même conclusion pour la nature de la force électromotrice.

Il n'y a donc de nouveau dans le travail de M. Malagoli que les conclusions, et on voit que la considération des vecteurs tournants n'est pas faite pour les justifier.

Veuillez agréer, etc.

A. BLONDEL.

CHRONIQUE

Résultats du concours Elihu Thomson. — Le compteur d'énergie électrique Elihu Thomson ayant obtenu un prix de 5000 francs au concours des compteurs organisé par la ville de Paris, en 1889, le savant professeur abandonna cette somme pour faciliter l'étude de certaines questions théoriques d'un grand intérêt.

Il chargea son représentant à Paris, M. E. Thurnauer, d'organiser un concours; le comité a été composé des personnes suivantes :

MM.

J. Carpentier, président de la Société internationale des électriciens;

Hippolyte Fontaine;

E. Hospitalier, professeur à l'école de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris;

E. Mascart, de l'Institut;

A. Potier, de l'Institut, rapporteur du comité du concours;

B. Abdank-Abakanowicz, ingénieur-conseil, secrétaire du comite du concours.

Le comité a décidé que le concours porterait sur les sujets suivants :

1° Etudier la chaleur dégagée par les charges et décharges successives des condensateurs, en faisant varier la grandeur des charges, la fréquence et la nature du diélectrique;

2° La théorie indique que lorsqu'on a réuni par un conducteur les armatures d'un condensateur, ce conducteur devient le siège de courants alternatifs dès que sa résistance s'abaisse au-dessous d'une certaine limite. La formule qui permet de calculer la période de ces oscillations n'a pas été vérifiée complètement jusqu'ici. On demande de rechercher expérimentalement cette période dans des conditions où la mesure exacte des résistances, capacités et coefficients de self-induction soit possible, afin d'arriver à une vérification précise et complète de cette formule;

3° Lorsqu'un condensateur formé par un isolant imparfait a été chargé, puis abandonné à lui-même, la charge des armatures se dissipe progressivement; le temps nécessaire pour que cette charge soit réduite à une fraction déterminée de sa valeur initiale ne dépend que de la nature de l'isolant. On demande si, comme l'admettent certaines théories récentes, des phénomènes analogues ont lieu dans des conducteurs métalliques, si l'on a des raisons expérimentales de le penser et de quel ordre de grandeur peut être ce temps pour cette nature de conducteurs;

4° On demande d'établir, en coordonnant les connaissances actuelles et en les généralisant, des méthodes graphiques pour les solutions de problèmes électriques, en procédant dans le même ordre d'idées qu'en statique graphique.

Quatre mémoires furent envoyés à la suite de cet appel :

1° *Die Bewegung der Erde ist die Quelle des Lebens.*

2° « Vigentia » : *Sur l'hystérésis diélectrique.*

3° « ηγεκρον » : *An examination on the absolute accuracy of the formula for calculating the period of free oscillation of a discharge condenser under circumstances such that the resistance of the circuit has no appreciable disturbing effect.*

4° « Ουτις εμοι γ'ουομα » : *An experimental determination of the period of electric oscillations.*

Les membres du Comité prirent connaissance de ces mémoires et adoptèrent les conclusions suivantes :

Le n° 3 est consacré à la vérification de la formule donnant la période des décharges oscillantes d'un condensateur. C'est un travail considérable, accompagné de plusieurs photographies, et dans lequel l'auteur a cherché, au moyen de calculs approfondis, à évaluer toutes les corrections inhérentes à l'emploi de sa méthode.

La vérification n'est qu'approchée; le principe de la méthode pourrait donner lieu à quelques critiques, le circuit de la décharge se fermant périodiquement par une étincelle qui introduit des perturbations impossibles à prévoir.

Le mémoire n° 4 porte sur le même sujet, étudié par une méthode nouvelle dans ses détails, qui a permis à l'auteur d'atteindre et de mesurer des périodes de quelques cent-millièmes de seconde. L'influence des principales causes d'erreur paraît très atténuée, bien qu'il reste encore quelques doutes sur l'influence de la capacité inhérente à la bobine de self-induction. La formule a été vérifiée à 1 pour 100 près. Le temps a fait défaut à l'auteur pour compléter ses recherches en variant les conditions de ses expériences.

Le procès-verbal de la réunion de la Commission est ainsi conçu :

« La Commission estime que le mémoire n° 4 « est digne de recevoir le prix établi par le pro-

« fesseur Elihu Thomson; elle espère que ce « témoignage encouragera l'auteur à continuer « ses belles recherches.

« Toutefois elle regrette de ne pas avoir à sa « disposition deux prix d'égale valeur qu'elle « serait heureuse d'attribuer aux mémoires n° 3 « et n° 4. »

Pour répondre au vœu de la Commission et par suite des démarches faites par M. Thurnauer, le professeur E. Thomson de Lynn, la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson Houston, la Compagnie pour la fabrication des compteurs, et la British Thomson-Houston Limited, de Londres, se sont réunis pour offrir un second prix de 5000 francs.

Les enveloppes contenant les noms des auteurs des mémoires primés ont été ouvertes et la Commission a décerné un prix de 5000 francs au Dr A. Webster, de *Clark University*, *Worcester*, Mass. E. U. A. (mémoire n° 4), et un autre prix de 5000 francs à M. Oliver Lodge de *University College*, *Liverpool*, en collaboration avec M. Glazebrook, de *Trinity College*, *Cambridge* (Mémoire n° 3).

L'industrie électrique en France.

Albi. — La Société immobilière des Moulins d'Albi demande l'autorisation d'établir une usine électrique sur la rive droite du Tarn, à la hauteur du barrage de Jussens.

Une enquête *commodo* et *in commodo* est ouverte à cet effet.

Ce serait un tort de croire que cette requête implique l'abandon par la ville de son projet d'installer une usine semblable à cette même chute du Tarn.

Quiconque peut, en effet, libeller une demande identique à celle de la Société des moulins d'Albi, et l'Etat reste seul dispensateur de la concession qu'il accorde ou retire quand bon lui semble.

Nous croyons, d'ailleurs, savoir que M. de Berne-Lagarde a adressé a qui de droit une lettre stipulant les prétentions de la ville à l'endroit de l'usufruit de ce barrage de Jussens et faisant ressortir que la demande de la commune d'Albi est la première en date de toutes les requête qui ont pu être adressées à ce sujet au Ministère des Travaux publics,

La question de l'installation d'une usine électrique municipale au barrage de Jussens reste donc entière.

Nous nous permettons seulement de faire remarquer que la chute du Tarn est telle, qu'elle ne permet pas deux concessions. D'après nos renseignements particuliers, l'utilisation de toute la chute est, en effet, nécessaire pour la transmission de la lumière électrique en raison de la distance qui sépare la ville du barrage de Jussens.

Bordeaux. — Le 11 janvier a eu lieu à l'Hôtel de Ville de Bordeaux l'adjudication des fournitures nécessaires à l'installation de l'éclairage électrique du Jardin-Public.

La Société alsacienne de constructions mécaniques, dont le siège est à Belfort, a été déclarée adjudicataire avec un rabais de 10.2 o/o sur les prix du devis qui s'élevaient à 41,198 fr. 58

Les travaux devront être terminés le 15 avril prochain, et l'éclairage commencera le 1er mai.

La Bourboule. — Les formalités préliminaires à l'éxécution des travaux de l'éclairage électrique de La Bouboule, sont menées activement. M. Claret compte pouvoir inaugurer le nouvel éclairage, si impatiemment attendu par tous les habitants de La Bourboule, le 1er juillet prochain.

Clermont. — La ligne Sud du tramway électrique va être mise incessamment en construction par M. Claret, qui espère pouvoir livrer la nouvelle ligne à la circulation le 1er mai prochain.

Combourg. — L'exemple de la ville de Combourg, dont l'éclairage électrique sera complété pour la fin de février comme nous l'avons annoncé dans notre dernière chronique, sera suivi, espérons-le, par la municipalité de Dol. En tout cas, des propositions lui ont été faites dans ce sens par M. Gagon, ingénieur-électricien.

Les municipalités de la région qui ont essayé ce nouveau mode d'éclairage en sont enchantées : nous pouvons citer, entre autres, Quintin, Saint-Brieuc et Tréguier.

Lillebonne (*Seine-Inférieure*). — Le Conseil municipal de Lillebonne, sur un rapport de sa commission spéciale, vient d'approuver à l'unanimité le projet de délibération suivant :

Attendu que l'article 11 du traité avec la Compagnie du Gaz, du 14 mars 1891, stipule que si les progrès de la science faisaient découvrir un système d'éclairage autre que celui du gaz, et si l'usage en était adopté par trois villes de France

de l'importance de Lillebonne comme consommation de lumière et dans la même situation comme prix de revient de la force motrice, et aussi à prouver une économie de vingt pour cent sur les prix actuels sanctionnée par une pratique de trois années, la Société concessionnaire devrait y faire participer la ville pour moitié, soit en réduisant le prix du gaz, soit en installant le nouveau mode d'éclairage, électrique ou autre, au gré de la municipalité; mais dans ce dernier cas, la durée du privilège recommencerait à courir pour vingt-cinq années du jour de l'installation de ce nouvel éclairage.

Attendu qu'aujourd'hui un grand nombre de villes de France de l'importance, et dans les conditions prévues dans cet article, emploient la lumière électrique pour leur éclairage public; qu'en effet, pour suivre l'ordre alphabétique, les villes de : Adge (Hérault), Barjols (Var), et Baugé (Maine-et-Loire), sont en tête de celles pourvues de l'éclairags électrique;

Attendu que d'après Hospitalier, le bec de gaz consommant 127 litres à l'heure est celui qui correspond à la lampe de 10 bougies à intensité lumineuse égale. Que d'après l'article 8 du cahier des charges du gaz, le bec de 120 litres coûte 2 centimes l'heure; que l'article 20 du cahier des charges de la Société Electrique de Bolbec, laquelle s'engage à donner la lumière électrique à Lillebonne, donne pour le prix de la lampe de 10 bougies 0 fr. 008, d'où économie de 110 o/o quand on ne demande qu'une économie de 20 o/o;

Le Conseil municipal invite la Compagnie Franco-Belge (Robert Lesage et Cie) à appliquer dans le plus bref délai la réduction du prix du gaz prévue à l'article 11, ci-dessus rappelé, soit de 55 o/o du prix actuel.

Et fait toutes réserves de droit relativement à la concession de tout autre mode d'éclairage au sujet duquel elle n'a concédé aucun privilège à la Société Robert Lesage et Cie.

Voici les recettes de la Compagnie parisienne du Gaz pendant les onze derniers mois de l'année.

Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz

Mois	Recettes de gaz en 1894	1893	Différence en 1894	o/o
Novemb.	8.481.423	8.869.229	— 218.406	2.51
11 pr. m.	67.445.038	68.117.192	— 672.154	0.99

Diminution notable, comme on le voit; d'autant plus que, l'année dernière, les recettes se trouvaient déjà en décroissance et que les prévisions de la Compagnie sont basées sur près de deux millions d'augmentation annuelle.

Par conséquent, le déficit réel de l'année dernière sur lesdites prévisions est de près de deux millions et demi, et il sera cette année de plus de cinq millions, soit 7,500,000 francs au total.

Les incendies dans les théâtres en 1894. — Il y a une réelle amélioration sous le rapport des incendies dans les salles de spectacle. Cette amélioration est-elle due aux nouveaux réglements des pompiers ou a l'extension de l'éclairage par l'électricité ? Nous penchons pour cette dernière hypothèse, car les accidents les plus nombreux sont constatés dans les théâtres éclairés au gaz ou au pétrole.

Dans la liste que nous publions, la France et l'Angleterre figurent deux fois, la Russie trois fois, la Belgique et les Etats-Unis quatre fois, et le Brésil une fois.

Le théâtre d'Albany. Le théâtre de Rochdale (Angleterre) avec 250,000 francs de pertes. Le théâtre de Homel (Pologne russe), incendié pendant une représentation de *Mignon* : pertes, 350,000 francs, L'Alcazar de Toulon. Le cirque Brun, à Anvers. Le petit Théâtre-Impérial, à Varsovie. Le théâtre Davidson. à Milwaukee (Etats-Unis); incendié pendant la représentation; 16 morts. Le théâtre des Jeux athlétiques, à Boston. Le théâtre Prado de Malembeck (Bruxelles). Le Politeama, de Rio-de-Janeiro. Le théâtre de Buda-Grissowka (Pologne-Russe). Le théâtre de la Reine, à Longtow (Angleterre), qui avait coûté 375,000 francs. Le théâtre municipal de Kutais (Russie). Le théâtre d'Annecy, Le théâtre du Globe, à Boston. Le Palais des Fées et le théâtre d'Eté, à Bruxelles.

Accident causé par l'électricité. — Un curieux cas de mort par l'électricité s'est produit le 25 janvier à Bordeaux.

Sur la route du Médoc, un ouvrier du télégraphe, occupé à des réparations, laissa échapper le fil qui tenait à la main, et ce fil passant sur le câble électrique qui sert à la traction du tramways du Bouscat au Vigean, alla descendre jus-

qu'à terre, Un circuit était ainsi formé. L'ouvrier en a été quitte pour une violente commotion mais le fil, à terre, toucha d'abord un cheval monté, lequel alla s'abattre, à dix mètres, foudroyé, Le cavalier était resté indemne. Un autre cheval attelé à un dog-cart fut également touché par le fil et foudroyé, Enfin, trois chiens, atteints aussi par le courant électrique, sont morts de la même manière.

Un peu plus loin, à cinquante mètres environs, deux chevaux attelés à une charette ont fait un bond énorme frappés sans doute par un courant de retour, mais n'ont pas été tués.

Enfin, l'installation électrique d'une grande maison de commerce voisine a été complètement brûlée ; la sonnerie s'était mise à rouler d'une façon désordonnée, une des personnes de la maison se précipita vers le cabinet téléphonique, pour demander la raison de cet appel insolité ; henreusement, la fumée qui se dégageait de l'appareil donna l'éveil et on put arrêter assez facilement un dangereux commencement d'incendie.

L'électricité et le patinage des locomotives. — Rien de plus ennuyeux que la locomotive dont les roues se mettent à glisser sur les rails, à « patiner », suivant l'expression technique : cela se produit par certains temps humides d'automne sur les voies ferrées et, presque en tout temps, sous les tunnels dont l'atmosphère est constamment humide et remplie d'eau à l'état vésiculaire.

On y obvie en projetant du sable sur les rails au moyens de boîtes à sables de divers systèmes. Mais l'électricité parait devoir être dans un avenir prochain la solution générale, en permettant d'aimanter les rails. Récemment, on a fait à Baltimore, aux Etats-Unis, d'utiles expériences à ce sujet.

Dans le système essayé, la locomotive porte une petite dynamo dont le courant sert à aimanter les roues ; lorsque le train aborde péniblement une rampe et que la locomotive se met à patiner, on fait fonctionner la dynamo. Le glissement devient alors impossible et toute la puissance de traction peut être utilisée. Les expériences ont été faites sur la rampe de Frankville, près de Baltimore, qui présente une pente de 4o/o sur un parcours de 1,500 mètres : la locomotive était attelée à un train de 46 voitures et le trajet qui s'effectue habituellement en 54 minutes avec une locomotive ordinaire, a été parcouru en 28 minutes. C'est un excellent résultat qui motiverait bien des frais d'achat et d'installation d'une dynamo par locomotive.

Pignons en acier comprimé pour moteurs électriques.

La Western Electric Company de New-York et Chicago fabrique, spécialement en vue des applications aux moteurs électriques, des pignons en acier en soumettant le métal à chaud à une pression de 500,000 kg. Après cet estampage aucune machine à tailler les dents n'est employée ; un simple rôdage suffit pour amener les pièces au point de voulu.

Dans cette fabrication, la continuité du grain est respectée; les fibres, sont simplement étendues ; l'énorme pression employée renforce pour ainsi dire et solidifie la matière.

Les qnalités d'usure de ces pignons seraient bien supérieures à celles des mêmes pignons taillés sur les machines usuelles ; enfin la main-d'œuvre étant considérablement diminuée, les pièces peuvent être livrées au commerce à bas prix.

Tramway électrique interurbain, en Californie. — Une compagnie au capital de 12 500 000 francs vient de se former pour exploiter une ligne de tramways électriques entre Merced et la célèbre vallée de Yosemite. La force motrice sera fournie par trois usines hydrauliques empruntant leur puissance à l'eau de la rivière de Merced. Cette ligne, à écartement normal, fera à la fois le transport des voyageurs et des marchandises. Ce sera une des plus longues lignes de tramways existantes, car elle ne mesurera pas moins de 104 kilomètres de longueur ! Merced est située à environ 225 kilomètres de San-Francisco, sur la ligne du Central Pacific Railroad ; c'est le point de départ des touristes qui se rendent, en diligence, à la vallée de Yosemite. On pense que le nombre de touristes augmentera considérablement en raison de facilités offertes par la nouvelle ligne.

Le Gérant : L. DENNERY.

Imprimerie ALCAN-LÉVY, 24, rue Chauchat, Paris

2e Année. Samedi 9 Février 1895. N° 6.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

SUR UNE MÉTHODE D'INSCRIPTION ÉLECTROCHIMIQUE DES COURANTS ALTERNATIFS (1)

L'étude expérimentale des courants alternatifs présente, comme on le sait, des difficultés beaucoup plus considérables que celle des courants continus; ces difficultés tiennent essentiellement à deux causes : d'abord à la complexité et à l'apparence souvent paradoxale des faits; en second lieu, à la multiplicité des éléments à mesurer. Tandis que pour caractériser entièrement un courant continu, il suffit de connaître son intensité, pour caractériser un courant alternatif, il faut connaître non seulement son intensité efficace, mais encore sa fréquence et sa forme en fonction du temps, forme qui s'écarte toujours plus ou moins d'une sinusoïde; tandis que pour comparer deux courants continus il suffit de connaître le rapport de leurs intensités, pour comparer deux courants alternatifs, il faut connaître non seulement le rapport de leurs intensités efficaces, mais encore leur différence de phase; enfin, tandis que, dans un courant continu, la force électromotrice est simplement proportionnelle à l'intensité du courant qu'elle produit, dans un courant alternatif, cette force électromotrice est souvent décalée d'une quantité inconnue sur le courant.

On possède aujourd'hui des méthodes expérimentales très précises pour l'étude et la mesure de ces divers éléments; mais ces méthodes sont presque toujours fort compliquées, soit en pratique, soit en théorie, et souvent même elles introduisent des éléments étrangers à la question, qui s'éliminent d'eux-mêmes à la fin du calcul. C'est ainsi que la plupart des méthodes de mesure des différences de phases proposées jusqu'à ce jour exigent l'emploi d'au moins un électrodynamomètre, c'est-à-dire forcent à passer par une mesure d'intensité, ce qui est un élément étranger à la question; on est à peu près dans les mêmes conditions que si, en optique, on devait passer par des mesures photométriques pour obtenir une différence de marche de deux rayons lumineux. Aussi pensons-nous qu'une

(1) Extrait d'une communication faite à la *Société internationale des Electriciens*, le 9 janvier 1895.

méthode simple, rendant visibles aux yeux ces éléments propres aux courants alternatifs et permettant de les mesurer directement avec une approximation souvent suffisante, sera bien accueillie par les électriciens. Voici en quoi consiste cette méthode ([1]).

Soient M et N (fig. 1) deux points entre lesquels existe la différence de potentiel périodique que nous voulons étudier. Sur un cylindre enregistreur E, on dispose une feuille de papier imbibée de la solution de ferrocyanure de potassium et d'azotate d'ammoniaque usitée dans le télégraphe électrochimique de Bain (parties égales des solutions saturées, 6 parties d'eau); à la surface du papier appuie légèrement un style S en fer ou en acier (une aiguille à tricoter usée à la meule en pointe légèrement mousse convient bien). On met en communication le cylindre avec le point N, la pointe avec le point M, puis on fait tourner rapidement le cylindre. Chaque fois que l'excès de potentiel de M sur N passe par un maximum positif, une trace de bleu de Prusse s'imprime sur le papier. On obtient ainsi une ligne discontinue dont chaque maximum, très net, correspond à une période de la force électromotrice étudiée. Remarquons que, le circuit dérivé très résistant MSN ne présentant pas de self-induction, le courant qui produit l'inscription n'est pas décalé sur la différence de potentiel qui l'engendre et qu'on veut étudier : en résumé, ce système joue le rôle d'un voltmètre enregistreur branché sur les points M et N, voltmètre qui noterait tous les maxima positifs de la différence de potentiel de M sur N.

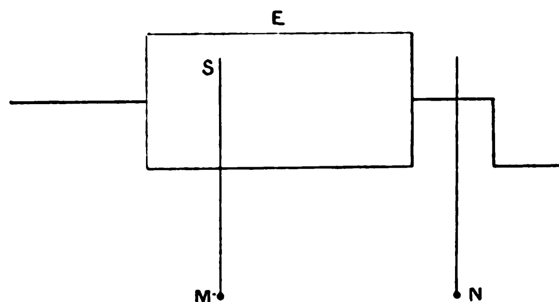


Fig. 1. — Principe de la méthode.

Pour avoir de bonnes épreuves, il convient d'employer un papier assez fort et de le laisser tremper quelques heures dans la dissolution de ferrocyanure. On l'applique alors sans pli ni bulle d'air sur le cylindre, puis, à l'aide d'un rouleau de papier buvard de bureau, on enlève rapidement l'excès de la dissolution ; il faut que la surface du papier devienne mate, sans cependant qu'il soit trop sec. On approche alors la pointe S et l'on procède immédiatement à l'inscription, puis on lave à grande eau et l'on sèche.

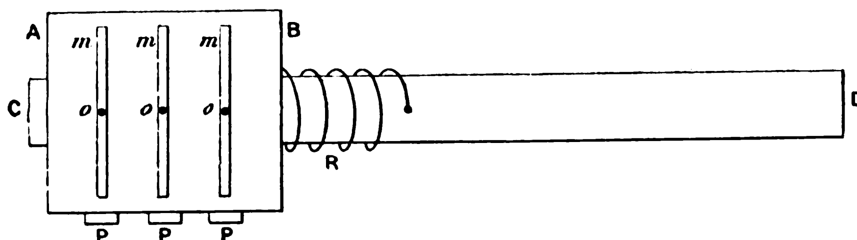


Fig. 2. — Supports des styles enregistreurs.

L'appareil employé pour supporter les styles destinés à l'inscription (nous verrons plus bas que, dans certains cas, plusieurs styles sont nécessaires) a la disposition ci-dessus (fig. 2) : Sur un bloc d'ébonite AB son fixés un certain nombre de petits tubes métalliques *m* mobiles autour de leurs centres O. Dans ces tubes s'engagent, à frottement dur, les styles qui sont formés de simples aiguilles

([1]) M. le professeur Grützner, de l'Université de Tübingen, m'a fait connaître qu'il avait, il y a quelques années, employé également une méthode d'inscription électrochimique dans des recherches d'Electrophysiologie (*Pflügers Archiv für die Ges. Physiologie*, Bd. 41 ; 1887).

à tricoter; ils communiquent avec des bornes P. Ce bloc d'ébonite est supporté par une tige de laiton CD qui le traverse de part en part et autour de laquelle il peut tourner. Un ressort à boudin R, fixé d'une part au bloc AB, d'autre part à la tige BC, tend à faire tourner le bloc AB, et fait appuyer les styles S sur la surface du cylindre : on peut ainsi régler à volonté la pression de ces styles sur le papier.

Le principe de la méthode étant ainsi connu, je vais montrer que cette méthode peut s'appliquer à l'étude de toutes les questions relatives aux courants périodiques, que j'ai signalées plus haut ; j'examinerai successivement :

1° La mesure des fréquences ;

2° La mesure des différences de phases ;

3° La détermination de la forme d'un courant périodique quelconque, en fonction du temps.

I. — MESURE DES FRÉQUENCES.

Cette mesure est celle qui se présente le plus naturellement. Soit à mesurer la fréquence de la différence de potentiel pério-

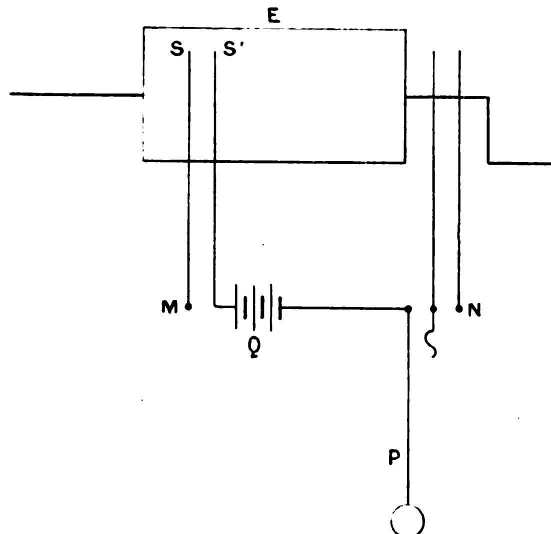


Fig. 3. — Mesure des fréquences.

dique qui existe entre les points M et N (fig. 3). A côté du style S, on installera un second style S' communiquant avec le pôle positif d'une pile Q ; le pôle négatif de cette pile communique avec l'axe du cylindre par l'intermédiaire d'un pendule P battant la seconde et fermant le circuit à chacune de ses oscillations. Le style S' marque, alors, toutes les secondes, une trace bleue sur le cylindre : il suffira de compter le nombre de traces inscrites par S entre deux traces inscrites par S' pour avoir la fréquence cherchée.

Cette méthode a été appliquée de la manière suivante à un courant alternatif fourni sous la tension de 110 volts. Ce courant provenait d'alternateurs Zipernowski à 2000 volts et était abaissé à 110 volts par transformateurs. Entre les deux bornes à 116 volts, on installe cinq ou six lampes de 20 volts en tension : les points M et N des figures précédentes sont simplement les deux bornes d'une de ces lampes. En effet, dans les conditions où je m'étais placé, il fallait une différence de potentiel de 20 à 30 volts pour avoir de bonnes inscriptions. Cette mesure donna 44 pour la fréquence cherchée.

J'ai répété des mesures analogues au moyen d'un alternateur Gramme auto-excitateur (type de 4 bougies Jablochkoff) mis en mouvement au moyen d'un moteur à gaz : la fréquence moyenne était 70. Tous les coups de piston du moteur se reconnaissaient d'ailleurs à l'inscription, aussi nette que les précédentes.

Ces mesures de fréquence, qui sont évidemment superflues lorsqu'on a l'alternateur à sa disposition, seront, au contraire, fort utiles, d'une manière générale, chaque fois que l'on n'aura pas à sa disposition l'alternateur qui produit le courant : cela arrivera, par exemple, lorsque, en un point quelconque d'un réseau de distribution alternatif, on voudra connaître la fréquence ou la vitesse des machines génératrices. De plus, nous avons remarqué plus haut avec quelle fidélité nos graphiques traduisent immédiatement, et d'une manière continue, toutes les variations de vitesse accidentelles du moteur : nous avons donc là un véritable tachymètre enregistreur ; il n'est peut-être pas sans intérêt de signaler cette application possible au moment où les intéressants travaux de MM. Picou, Guil-

laume, etc., dirigent l'attention du public sur les variations de vitesse des moteurs et le rôle des couplages élastiques.

II. — MESURE DES DIFFÉRENCES DE PHASES.

Soit à mesurer la différence de phase entre deux forces électromotrices périodiques; on inscrit, par la méthode indiquée plus haut, ces deux forces électromotrices l'une à côté de l'autre : on obtient ainsi deux lignes discontinues X et Y (fig. 4) dont l'une est déplacée, par rapport à l'autre, d'une certaine quantité; le rapport suivant lequel un maximum d'une de ces lignes divise l'intervalle laissé entre deux maxima consécutifs de l'autre donne, en fraction de période, la différence de phase cherchée.



Fig. 4.

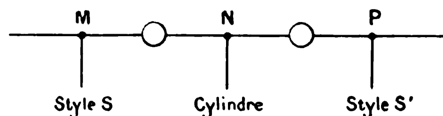


Fig. 5. — Mesure des différences de phases.

La mesure de la différence de phase entre une force électromotrice et un courant se ramène immédiatement au cas précédent, en faisant passer le courant dans une résistance non inductive et en prenant comme mesure du courant la différence de potentiel aux bornes de cette résistance.

J'ai appliqué cette méthode aux exemples suivants :

1° Soient (fig. 5) trois points M, N, P disposés en série sur un circuit alternatif, et séparés simplement par des résistances non inductives (nous pourrons, par exemple, prendre les bornes de deux des lampes précédemment employées). Mettons le point N en communication avec le cylindre, les points M et P en communication avec deux styles S et S'. Il est évident que les excès de potentiel de M et de P sur N sont décalés l'un par rapport à l'autre d'une demi-période; en effet, au moment où M présente sur N un excès maximum positif, P présente sur N un excès maximum négatif. Les maxima de l'une des deux lignes doivent donc partager en deux parties égales les intervalles laissés entre les maxima de l'autre. C'est ce que l'expérience vérifie avec une grande exactitude (fig. 6).



Fig. 6.

2° On sait que lorsqu'un courant alternatif se bifurque entre deux branches, si l'une des deux branches contient une bobine, tandis que l'autre ne présente pas de self-induction, les deux courants dérivés sont décalés l'un par rapport à l'autre au plus d'un quart de période, le courant qui passe dans la branche inductive étant en retard sur l'autre. C'est ce phénomène que je me suis proposé de mettre en évidence. La disposition de l'expérience est la suivante : un courant alternatif se bifurque en un point N (fig. 7) entre deux branches NMQ, NPQ. La branche NMQ est composée d'un certain nombre de lampes de 20 volts en tension. La branche NPQ est composée d'une lampe de 20 volts et d'une bobine F à noyau de fer. D'après ce qui précède, le courant qui passe dans la branche NPQ doit être en retard sur le courant qui passe dans la branche NMQ; or les intensités de ces courants sont simplement proportionnelles aux différences de potentiel qui existent entre N et M d'une

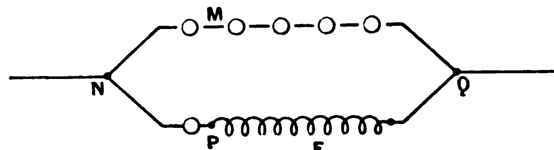


Fig. 7. — Mesure du décalage du courant par une résistance inductive.

part. N et P de l'autre, puisque les résistances NM, NP ne sont pas inductives. Mettons donc le point N en communication avec les deux styles S et S'. Nous obtenons ainsi deux lignes, dont l'une est en retard sur l'autre de la quantité cherchée (fig. 4).

3° Disposons en série (fig. 8) sur un circuit alternatif une lampe MN, puis une bobine NP, et étudions les excès de potentiel de M et de P sur N ; si la résistance NP n'était pas inductive, nous aurions (1°) une différence de phase plus grande qu'une demi-période : c'est ce que l'expérience vérifie.

4° Enfin, comme dernière application, j'ai inscrit des forces électromotrices triphasées. Le montage en étoile se prête particulièrement bien à l'expérience. Soient O le centre de l'étoile, M, N, P les sommets. On fait

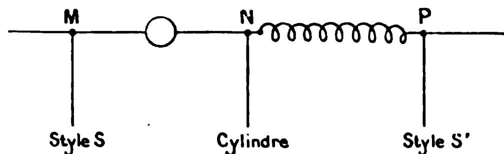


Fig. 8. — Mesure du décalage du courant produit par une résistance inductive.

communiquer le point O avec le cylindre, les points M, N, P avec trois styles S, S', S''. On obtient ainsi trois lignes déplacées l'une par rapport à l'autre d'un tiers de période.

Ces divers exemples montrent avec quelle facilité la méthode s'applique à l'étude des différences de phase.

III. — Étude de la forme d'un courant périodique.

Soit

$$V = f(t)$$

une différence de potentiel périodique quelconque; il s'agit de trouver la fonction $f(t)$, ou, ce qui revient au même, la forme de la courbe représentative de cette fonction. Personne n'ignore la très grande importance de cette question ; en effet, la plupart des travaux théoriques sur les courants périodiques supposent cette fonction sinusoïdale; or, dans bien des cas, elle ne l'est pas, et l'expérience seule peut alors donner quelques indications au calcul.

On sait que c'est M. Joubert, qui, le premier, étudia cette question au moyen de la méthode désormais classique du contact instantané. La plupart des auteurs qui suivirent employèrent cette méthode. En 1891, je proposai [1] de modifier légèrement la méthode de M. Joubert et d'en faire une méthode d'inscription directe par voie photographique, en la transformant en méthode stroboscopique : il suffisait pour cela de rendre lentement variable le contact fixe de M. Joubert. L'appareil que je fis construire à cette époque figura à l'Exposition de la Société de Physique de Pâques 1892. Dans l'intervalle, M. Blondel, qui, de son côté, avait eu la même idée, publia ses intéressantes études sur l'arc alternatif, et j'abandonnai la méthode en question. Dès que je fus en possession de la méthode électrochimique, je repris le problème si important de l'inscription directe du courant alternatif. Les considérations suivantes m'amenèrent au résultat cherché.

« Considérons (fig. 9) la courbe S représentative de la différence de potentiel étudiée en fonction du temps. Soient M et N les deux points entre lesquels existe cette différence de potentiel : mettons le point N en communication avec le cylindre, le point M avec le style, nous obtenons, comme précédemment, une série de traits bleus. Cherchons tout d'abord, comme question préliminaire, quelle condition détermine la longueur de ces traits. Pour le trouver, changeons l'échelle de la courbe précédente, ce qui ne change rien à sa forme ; appelons v la vitesse linéaire d'un point de la périphérie du cylindre et portons en abscisse non plus t, mais la quantité vt qui lui est proportionnelle et représente simplement l'espace parcouru au temps t par le style à la surface du cylindre (nous supposons ici la vitesse uniforme pour simplifier le raisonnement, mais on pourrait se débarrasser de

[1] *Séance de la Société française de Physique* du 20 mars 1891. — *Revue générale des Sciences* du 30 mars 1891.

cette restriction). Cela posé, remarquons que le trait bleu commence à s'inscrire dès que l'excès de potentiel du style sur le cylindre atteint une valeur déterminée a, et cesse dès que cette différence de potentiel tombe au-dessous de cette valeur : cette différence de potentiel, qui dépend principalement de la force électromotrice de polarisation du système, est inconnue, mais peu importe. Traçons la droite XY parallèle à l'axe des temps et ayant pour ordonnée la quantité a, puis imaginons que la figure représente la feuille de papier au ferrocyanure elle-même et que le style se déplace réellement avec la vitesse v sur la ligne XY; dès qu'il atteindra le point A, la différence de potentiel V dépassant a, une trace bleue commencera à s'inscrire, puis elle cessera dès que le style atteindra le point B. Elle recommencera en A', cessera en B' et ainsi de suite, en sorte que les traits bleus obtenus représentent, en grandeur et en position, les segments interceptés sur la courbe par la droite XY.

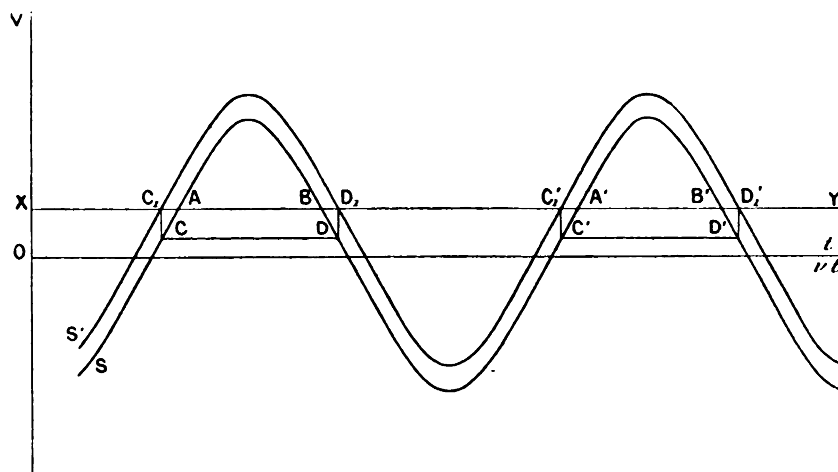


Fig. 9. — Enregistrement de la forme d'un courant périodique.

Cela posé, faisons communiquer le même point M avec le pôle négatif d'une pile de force électromotrice e, dont le pôle positif communique avec un second style S' disposé à côté du premier ; l'excès de potentiel de S' sur le cylindre sera évidemment $V + e$, autrement dit il sera représenté géométriquement par la courbe S', qui n'est autre chose que la courbe précédente S, déplacée parallèlement à elle-même d'une quantité e vers le haut. Les nouvelles traces bleues données par le style S' seront les intersections C_1D_1, $C'_1D'_1$, etc. de cette nouvelle courbe par la même droite XY. Menons les ordonnées C_1C, D_1D; on a, par construction, $CD = C_1D_1$. Donc le segment CD représente en grandeur le trait imprimé par S'. Il le représentera en position moyennant une échelle convenable pour le dessin [1].

Nous sommes déjà en mesure d'obtenir une construction par points de la courbe cherchée : nous pouvons, en effet, reporter la figure ABCD, ou une figure semblable, sur du papier quadrillé, puis, en faisant varier la force électromotrice, obtenir d'autres segments analogues à CD. Pour obtenir les segments supérieurs à AB, il faudrait mettre le point M en communication avec le pôle positif d'une pile dont le pôle négatif communiquerait avec S'.

Mais nous pouvons maintenant transformer cette méthode en méthode d'inscription directe de la manière suivante.

Supposons que nous ayons à notre disposition une batterie d'accumulateurs montés en

(1) Il suffit pour cela de prendre, pour représenter la force électromotrice e, précisément la distance réelle qui sépare les deux styles S et S'.

série : j'appelle P_1, P_2, P_3,...., P_n leurs pôles successifs. Disposons sur le cylindre parallèlement l'un à l'autre un nombre égal de styles équidistants S_1, S_2, ..., S_n que nous ferons communiquer avec les pôles P_1, P_2, ..., P_n (fig. 10).

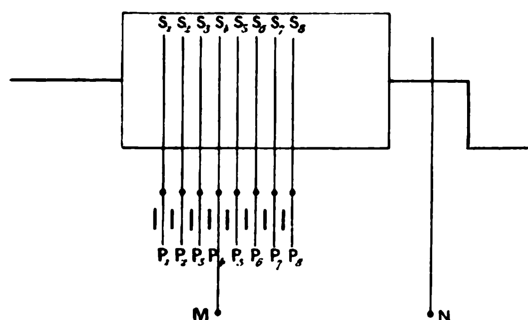


Fig. 10. — Dispositif d'enregistrement de la forme d'un courant périodique.

Cela posé, mettons, comme tout à l'heure, le point N en communication avec le cylindre et le point M en communication avec l'un des pôles, et par conséquent avec le style correspondant, par exemple P_4 et S_4. Ce style tracera les segments AB, A'B', ..., de la figure. Le style 5 tracera alors les segments CD, C'D', ..., et ainsi de tous les autres, en sorte que la courbe cherchée se dessinera d'elle-même, sous forme de hachures bleues sur fond blanc (fig. 11). On voit donc que, grâce à cet artifice très simple, la méthode électrochimique se prête à l'inscription autographique directe des courbes des courants périodiques. C'est, à ma connaissance, la plus simple des méthodes qui ont été proposées dans ce but ; elle a de plus l'avantage de pouvoir s'appliquer même lorsqu'on n'a pas à sa disposition l'alternateur qui produit le courant : c'est la seule qui jouisse de cette propriété.

Cette méthode, comme M. Blondel l'a fait observer (1), est l'analogue en électricité d'une méthode ingénieuse que M. Marcel Deprez a employée autrefois pour obtenir directement le tracé d'un diagramme d'une machine à vapeur. La méthode de M. Marcel Deprez consiste à opposer à la pression qu'on veut étudier dans l'indicateur de Watt une contre-pression connue ; le style, par une disposition facile à imaginer, tracera sur le papier un segment de droite tant que la pression dans le cylindre dépassera la contre-pression ; en faisant varier simultanément la position du style et la contre-pression (ce qui peut se faire automatiquement), M. Marcel Deprez a obtenu le tracé complet de la courbe par segments horizontaux. On verra facilement que notre méthode d'inscription électrochimique des courants alternatifs est l'analogue de celle-là, en substituant tant par les mots de *différence de potentiel* au mot de *pression*.

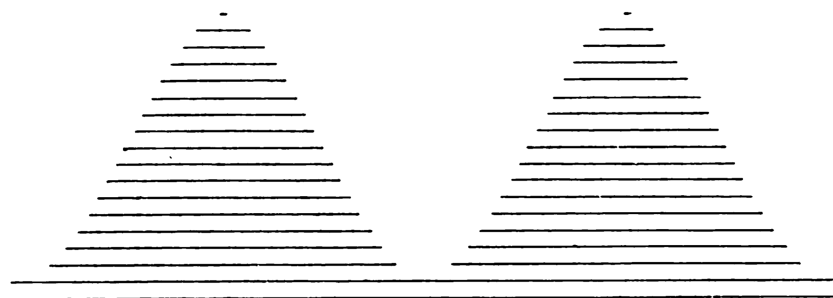


Fig. 11. — Courbe obtenue au moyen de la méthode électrochimique.

M. Blondel a de plus proposé une légère modification de cette méthode ; je renvoie, pour la description de cette modification, à la Note citée plus haut.

Conclusion. — On voit par tout ce qui précède que la méthode d'inscription électrochimique des courants alternatifs se prête à résoudre expérimentalement la plupart des

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 13 août 1894. — *L'Éclairage électrique*, t. I, p. 85.

questions que présente l'étude des courants alternatifs ; elle n'offre aucune difficulté d'application et n'exige que des appareils très simples et peu coûteux ; sa théorie s'établit entièrement sans calculs et sans formules, ce qui est à considérer chaque fois que l'on touche aux courants alternatifs; enfin elle rend visibles aux yeux un certain nombre d'éléments qui jusqu'ici n'étaient étudiés qu'au moyen de formules algébriques ou de constructions géométriques ; c'est, à tous ces titres, nous l'espérons, qu'elle paraîtra digne de quelque intérêt aux électriciens, de jour en jour plus nombreux, qui s'occupent du courant alternatif (¹).

PAUL JANET,
professeur à la Faculté des Sciences
de Grenoble, chargé de cours à la Faculté de Paris.

MAGNÉTISME
ET RÉACTIONS CHIMIQUES
FORCE ÉLECTROMOTRICE D'AIMANTATION

I
HISTORIQUE

De nombreux savants ont essayé depuis longtemps de mettre en évidence l'influence du magnétisme sur les actions chimiques, même du temps qu'on cherchait l'action de l'électricité statique sur l'aiguille aimantée. Encouragés par la belle découverte de Chr. Oersted, les expérimentateurs redoublèrent d'activité de ce côté, mais tous se heurtèrent au même résultat négatif. Après tant de tentatives infructueuses (²), la question semblait abandonnée, lorsque la découverte de M. Remsen en 1881 ramena de nouveau l'attention des savants sur ce sujet.

Voici en quoi consiste cette expérience de M. Remsen (³):

Lorsque dans une petite cuve en fer mince posée à cheval sur les deux pôles d'un fort aimant Jamin on verse une solution de sulfate de cuivre, le cuivre remplacé dans le sel par le fer au lieu de se déposer uniformément comme dans le cas ordinaire, se dépose suivant des lignes d'intensité d'aimantation constante. Leur équation serait :

$$I = c^{te}$$

La forme de ces courbes est à peu près celle des lignes équipotentielles magnétiques, c'est-à-dire normale aux lignes du fantôme magnétique. Sur les parties de la plaque où le fer est le plus fortement aimanté, le cuivre se dépose moins; donc le fer aimanté est moins attaqué par l'acide.

Bientôt après, MM. Nichols et Franklin (¹) trouvèrent que le fer devenu passif par son contact avec de l'acide azotique concentré, était attaqué par cet acide dès qu'on le mettait dans un fort champ magnétique.

Si, par l'effet de l'aimantation, un morceau de fer devient plus ou moins attaquable par un acide, on peut penser de même que la force électromotrice d'une pile dont une des électrodes est en fer, change suivant le champ magnétique dans lequel elle se trouve. Et en vérité MM. Nichols et Franklin observèrent qu'entre deux fils de fer plongeant dans un même liquide capable d'agir sur le fer, il se produisait une différence de potentiel dès que l'une des électrodes était aimantée. Cette force électromotrice d'aimantation très irrégulière en grandeur changeait de sens suivant que la portion de surface par laquelle l'électrode aimantée prenait contact avec le liquide, était sur la région neutre ou sur l'un des pôles magnétiques induits. Ces auteurs concluent que, lorsqu'on arrive à régulariser cette force électromotrice en prenant un acide convenable, le fer aimanté se trouve négatif par rapport au fer non aimanté; c'est-à-dire que le fer aimanté se comporte comme le zinc d'une pile de Daniell; par conséquent le fer aimanté est plus attaquable par l'acide que le fer non aimanté.

(¹) Le travail qui fait l'objet de cette Communication a été effectué au Laboratoire d'électricité industrielle de la Faculté des Sciences de Grenoble.

(²) *Die Lehre von Electric.* Wiedemann, t. XXXIII, p. 967.

(³) H. JUEPTNER. *L'influence du magnétisme sur les métaux au point de vue électrolytique.*

(¹) NICHOLS et FRANKLIN. *American Journal of Science*, t. XXXI, XXXIV et XXXV.

MM. Rowland et Bell (1) sont arrivés de leur côté à un résultat opposé ; dans leurs expériences ils ont obtenu : que le fer aimanté est positif par rapport au fer non aimanté, donc il est moins attaquable que ce dernier. Ils expliquent les résultats contraires de MM Nichols et Franklin par les actions perturbatrices des sels de fer formés dans la réaction.

Ces phénomènes parasites étaient inévitables dans les expériences précédentes, par le fait de la méthode galvanométrique employée pour évaluer les forces électromotrices ; car le circuit étant fermé et le courant appréciable relativement, il se produit non seulement les phénomènes non définis de polarisation, mais encore la variation de résistance due à la variation de concentration par suite de l'orientation des sels de fer dans le champ magnétique.

D'un autre côté, déjà depuis 1885, M. Th. Gross (2) avait trouvé que le fer aimanté est négatif par rapport au fer non aimanté, il constate de même qu'entre les différentes parties d'un morceau de fer plongé dans un acide, si on aimante le fer d'une manière non uniforme, il se forme des courants électriques entre les parties qui n'ont pas la même intensité d'aimantation. Il apporte, le premier, dans la discussion théorique de ces phénomènes, la considération de la chaleur de combinaison du fer avec l'acide. Il croit que « la chaleur de combinaison du fer avec un acide est plus grande lorsqu'il y a entre eux une énergie magnétique, que lorsqu'il n'y en a pas ».

Nous verrons que cette manière de voir est incomplète et erronée.

M. Andrews (3), à la suite de ses expériences arrive aux mêmes conclusions que Nichols, Franklin et Gross.

M. Paul Janet (4), par des considérations théoriques, explique que « la chaleur de combinaison du fer avec un acide est plus grande hors du champ magnétique que dans ce champ ». En s'appuyant sur le principe du travail maximum, il déduit que le fer aimanté doit être moins attaquable par l'acide que le fer non aimanté.

Donc la force électromotrice d'une pile dont l'électrode positive serait en fer augmenterait, lorsque cette pile se trouverait dans un champ magnétique.

M. Duhem (1) s'est occupé théoriquement de ces phénomènes. Le résultat de son analyse, pour le cas qui nous intéresse, est le suivant :

« Lorsqu'une substance magnétique, sans force coercitive, entre en réaction pour former une combinaison chimique dont le magnétisme soit négligeable, elle dégage une moindre quantité de chaleur lorsque la combinaison s'effectue dans un champ magnétique que lorsque la combinaison s'effectue en dehors du champ, pourvu que le coefficient d'aimantation diminue ou demeure constant lorsque la température croît. »

De là, en considérant la grandeur de la diminution du potentiel thermodynamique, il trouve que c'est le fer aimanté qui est moins attaquable par l'acide que le fer non aimanté.

Quant à la force électromotrice d'aimantation, elle est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - \frac{\lambda}{\delta}\left[\frac{m^2}{F(m)} - \frac{m^2}{2F(\mu)}\right]$$

ε_1 étant la force électromotrice lorsqu'il n'y a pas d'aimantation, λ, une constante positive proportionnelle au poids moléculaire ; δ, le poids spécifique du corps magnétique ; m, l'intensité d'aimantation ; μ, une certaine quantité comprise entre o et m, et son énoncé est le suivant :

« Pour toutes les substances magnétiques connues, l'aimantation diminue la force électromotrice de la pile si la substance magnétique forme l'électrode négative et l'augmente si la substance magnétique forme l'électrode

(1) Rowland et Bell. *Philosophical Magazine*, t. XXXII, p. 105.

(2) Th. Gross. *Sitzunzsberikte der Weiner Academie*, décembre 1885.

(3) Andrews. *Proceed. of the R. S.*, t. XLIV, p. 151 ; t. XLVI, p. 176.

(4) P. Janet. *Journal de Physique*, 2e t. VI.

(1) P. Duhem. *De l'aimantation par influence*, p. 98 et suiv.

positive. L'inverse a lieu pour les substances diamagnétiques. »

Enfin, tout dernièrement, M. Squier [1] a décrit une série d'expériences concernant ces phénomènes. Il a employé deux électrodes provenant du même morceau de fer, mais ayant des formes différentes : l'une est taillée en pointe, l'autre est un disque (normal au champ magnétique d'un électro-aimant) couvert de cire rouge, sauf sur la partie centrale, par où on prenait contact électrique avec le liquide. La pointe était disposée à un centimètre du centre du disque suivant la direction du champ. Les deux électrodes plongeaient dans un liquide formé de 10 grammes d'eau distillée, 1 gramme de gélatine sèche de 0,533 d'acide azotique concentré de densité 1,415.

L'emploi de ce liquide gélatineux avait pour but, d'après l'auteur, d'empêcher les sels de fer formés de se mouvoir facilement entre les deux électrodes.

Il a observé, dans ses expériences, qu'aussitôt qu'on produisait le champ magnétique dans l'électro-aimant, le galvanomètre qui était en communication avec les électrodes, indiquait une déviation correspondant à un courant allant de la pointe au disque dans le circuit extérieur. Mais aussitôt après, le courant changeait de sens d'autant plus vite qu'il y a plus de sel de fer formé et que le liquide est moins gélatineux.

Il conclut que le fer aimanté devient positif. Dans toutes les autres expériences dans lesquelles le fer devient négatif par aimantation, ce résultat contraire serait dû aux actions parasites et secondaires des sels de fer formés par la réaction chimique.

II

DISPOSITION EXPÉRIMENTALE

J'ai repris ces expériences; dans le présent Mémoire je vais seulement étudier la force électromotrice d'aimantation.

On peut penser, en voyant les résultats peu certains et contradictoires obtenus par les précédents expérimentateurs, qu'une partie de ces causes provient de ce que l'état magnétique des électrodes était mal défini ; par suite de l'emploi des électrodes à grande surface relativement et de l'incertitude de la force démagnétisante.

Pour ces raisons, je me suis imposé d'abord d'obtenir des électrodes bien isolées, ayant, avec le liquide susceptible de les attaquer, des surfaces de contact bien limitées, bien dressées et d'orientation déterminée par rapport au champ magnétique. Pour cela j'ai employé de préférence des électrodes en fil variant de diamètre entre 0,02 cm. jusqu'à 0,1 cm. et préparées à la Wollaston, de manière que le verre bien fondu emprisonne bien le métal



Fig. 1. — Disposition des électrodes à la Wollaston.

sans présenter des soufflures. Le bout *a* de l'électrode (fig. 1) ainsi obtenue était bien poli sur du papier d'émeri très fin.

Les deux électrodes semblablement préparées étaient fixées à l'aide des bouchons dans les deux branches verticales d'un tube T (fig. 2) plié à angle droit à ses extrémités ; la partie horizontale de ce tube avait plus de 30 centimètres de longueur.

La branche verticale qui contenait l'électrode *c* était disposée entre les pièces polaires P P d'un fort électro-aimant, tandis que l'autre se trouvait en dehors du champ magnétique.

Ces électrodes étaient réunies par des fils métalliques à un commutateur bien isolé C. A

[1] Squier. *American Chem. Journ. of Baltimore*, t. XVI. *Lumière électrique*, 1893.

ce même commutateur arrivent deux fils *e* et *f*, qui amènent une force électromotrice fraction de Daniell et les deux électrodes *v* et *v'* d'un électromètre capillaire V sensible au dix-millième de volt.

L'emploi de l'électromètre pour ces mesures donne un grand avantage sur les autres expériences faites dans cet ordre de phénomènes avec un galvanomètre : d'abord puisqu'il permet d'avoir un liquide contenant extrêmement peu d'acide ; de cette manière l'attaque de l'électrode est très lente, et par conséquent beaucoup plus régulière ; ensuite on n'a plus à craindre les phénomènes mal définis de polarisation et de variation de résistance par suite de l'orientation dans le champ magnétique des sels de fer formés.

On évalue les forces électromotrices par compensation en employant l'électromètre capillaire comme appareil de zéro [1].

La mesure du champ magnétique se fait par la méthode du galvanomètre balistique. Dans un même circuit d'un galvanomètre dont l'aiguille avait un grand moment d'inertie se trouvaient deux bobines : une petite bobine plate *s* placée entre les pièces polaires de l'électro-aimant et une autre de grande surface S dans le champ magnétique terrestre. Le galvanomètre était placé assez loin pour ne pas être influencé directement par le champ magnétique de l'électro-aimant. Étant donné

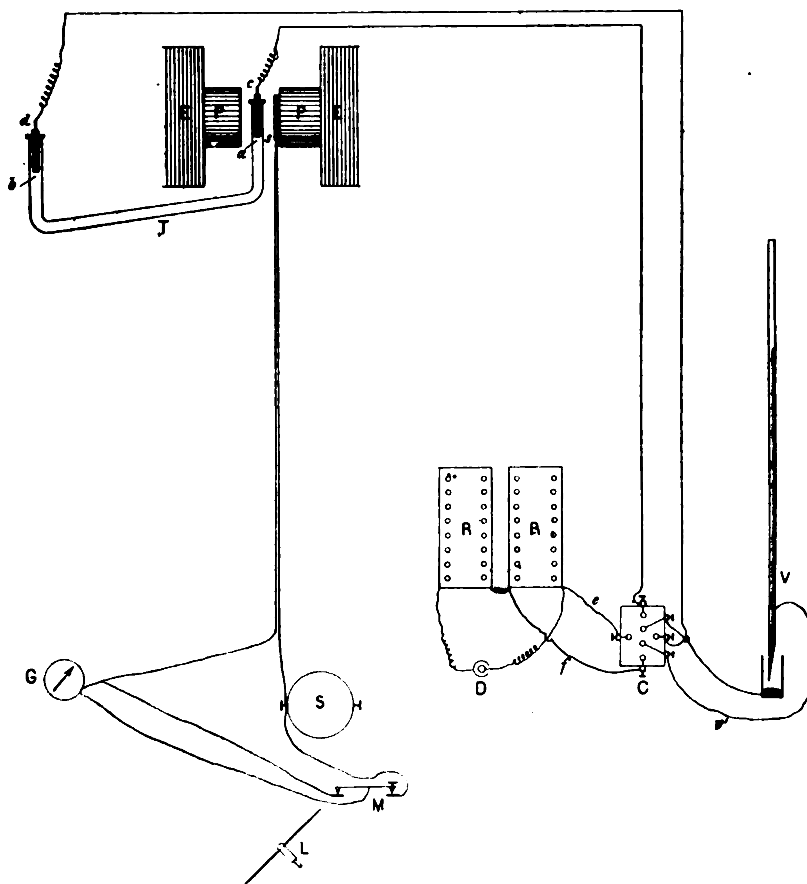


Fig. 2. — Disposition générale des expériences.

[1] L'électromètre employé a été construit par M. Chabaud ; c'est son dernier modèle (Modification Limb) avec la tubulure latérale, pour descendre le mercure lorsque l'appareil n'est pas en expérience. Il a toujours bien fonctionné.

le faible diamètre des fils de fer et de nickel employés comme électrodes on peut considérer que le champ magnétique en dehors de ces fils, là où se trouvait la petite bobine s, n'était pas modifié par leur présence.

Lorsqu'on arrache la bobine s depuis cette position jusqu'en dehors du champ magnétique, le galvanomètre dévie de α :

$$(2)\qquad \frac{sH}{R} = G\alpha$$

s — surface de la bobine,
H — intensité du champ magnétique,
R — résistance totale du circuit,
G — constante du galvanomètre.

En faisant tourner la bobine S dans le champ terrestre de 180° autour d'un axe horizontal, qui est en même temps un de ses diamètres, on a l'impulsion α_0 qui satisfait à l'égalité.

$$(3)\qquad \frac{2SV}{R} - G\alpha_0$$

On a donc

$$(4)\qquad H = V\frac{2S}{s}\frac{\alpha}{\alpha_0}$$

En exprimant V en unités C. G. S. et en prenant pour cette valeur

$$V = 0{,}42$$

on a

$$H = 0{,}42\,\frac{2S}{s}\frac{\alpha}{\alpha_0}$$

La marche d'une expérience. — Avant chaque expérience, on polissait le bout des électrodes une demi-heure au moins avant de les introduire dans le liquide. Une fois introduites on attendait que la force électromotrice parasite ait une valeur constante. Si les électrodes étaient introduites dans le liquide aussitôt après leur polissage, la force électromotrice parasite se trouvait beaucoup plus grande et très irrégulière.

Après ces préparatifs on plaçait une des électrodes, e par exemple, entre les pièces polaires de l'électro-aimant, de manière à ne pas les toucher; le tube T était tenu dans un support bien isolé. On compensait la force électromotrice parasite dans cette position. Alors on excitait le champ magnétique et en même temps on regardait l'électromètre. Il y avait d'abord une petite force électromotrice due à l'induction et presque en même temps une autre qui croissait jusqu'à une valeur maximum où elle s'arrêtait; on ramenait l'électromètre au zéro par une force électromotrice contraire, et en même temps on faisait la mesure du champ magnétique.

Dans certaines expériences, on remarquait que cette force électromotrice, après avoir atteint sa valeur maximum où elle se fixait quelque temps, diminuait très lentement de quelques dix-millièmes de volt. Lorsqu'on supprimait le champ magnétique, l'électromètre revenait à son zéro et le dépassait en sens contraire d'une quantité d'autant plus grande que cette baisse de la force électromotrice d'aimantation depuis sa valeur maximum était plus grande. Entre chaque mesure on laissait l'électromètre revenir à son zéro, ce qui indiquait que l'électrode était revenue à son état permanent; ainsi dans une série de mesures on partait toujours du même zéro de l'instrument et par conséquent du même état du système.

Le liquide qu'on a employé de préférence est une dissolution très faible d'acide oxalique ou d'acide acétique : une goutte ou deux dans 100 c. c. d'eau distillée et exempte d'air. Avec les autres acides on a des résultats moins satisfaisants.

Parmi les métaux magnétiques employés comme électrodes on a eu : le fer, le nickel, et le bismuth parmi les diamagnétiques.

Avec le bismuth on a obtenu des électrodes à la Wollaston, en aspirant le métal fondu dans des tubes en verre des thermomètres.

Lorsqu'on a pris toutes les précautions citées plus haut, un système fer acide acétique par exemple donne des résultats comparables trois ou quatre jours après sa formation.

D. HURMUZESCU,
Attaché au laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne.

LES CANALISATIONS ÉLECTRIQUES

A PARIS [1]

Après avoir nettement constaté les inconvénients inhérents à l'emploi des crochets en fer comme supports des câbles recouverts, le

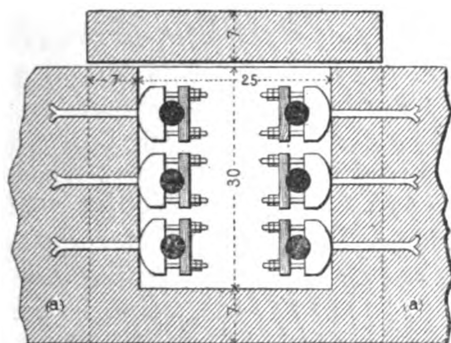


Fig. 1. — Disposition des isolateurs dans les caniveaux. — Coupe : *a*, maçonnerie supplémentaire pour faciliter le scellement.

secteur, après avoir essayé divers palliatifs, comme par exemple celui qui consiste à placer le câble dans un petit fourreau en caoutchouc, formant protection entre lui et le crochet, décida le remplacement complet du système

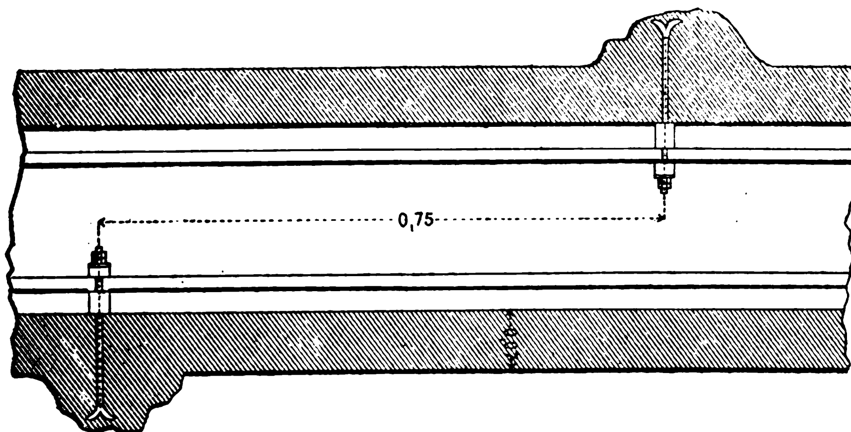


Fig. 2. — Disposition des isolateurs dans les caniveaux. — Plan.

par un autre. Cette modification radicale a été déterminée par la nécessité d'éviter le plus possible les ouvertures de tranchées sur la voie publique. Il fallait un système sûr ayant fait ses preuves et ne nécessitant, par la suite, aucune ouverture pour surveiller l'état de la canalisation.

Dans cet ordre d'idées, on a simplement eu recours à des isolateurs, tout comme si les câbles étaient nus. Il y a un isolateur distinct par conducteur : les figures 1 et 2 indiquent le dispositif employé.

Les isolateurs, montés sur une tige de fer de 14 centimètres de longueur qui y est scellée au soufre, sont placés verticalement et scellés au ciment de Vassy dans l'épaisseur de la paroi du caniveau. Cette épaisseur n'étant que de 7 centimètres et insuffisante pour assurer un bon scellement, on exécute sur place une petite surépaisseur d'environ 7 centimètres afin de noyer complètement la tige de fer dans la maçonnerie.

La figure 3 et 4 indique à grande échelle la coupe et l'élévation d'un isolateur. La partie E est en porcelaine lisse avec contour arrondi pour faciliter la place du câble. Dans cette porcelaine sont scellées deux tiges en fer filetées qui servent à porter une barrette en bois de chêne D ; celle-ci maintient le câble et est fixée au moyen de quatre écrous ou contre-écrous sur les tiges filetées.

Les isolateurs coûtent 0 fr. 55 la pièce. En supposant qu'on opère sur un type de cani-

---

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 15 décembre 1894 et du 19 janvier 1895.

veau, comme celui qui est représenté, qui offre une largeur intérieure de 25 centimètres et qui porte 1 feeder et 1 distributeur avec distribution à 3 fils, on place les rangées d'isolateurs tous les $0^{m},75$. La dépense par mètre courant de transformation proprement dite s'établit ainsi qu'il suit :

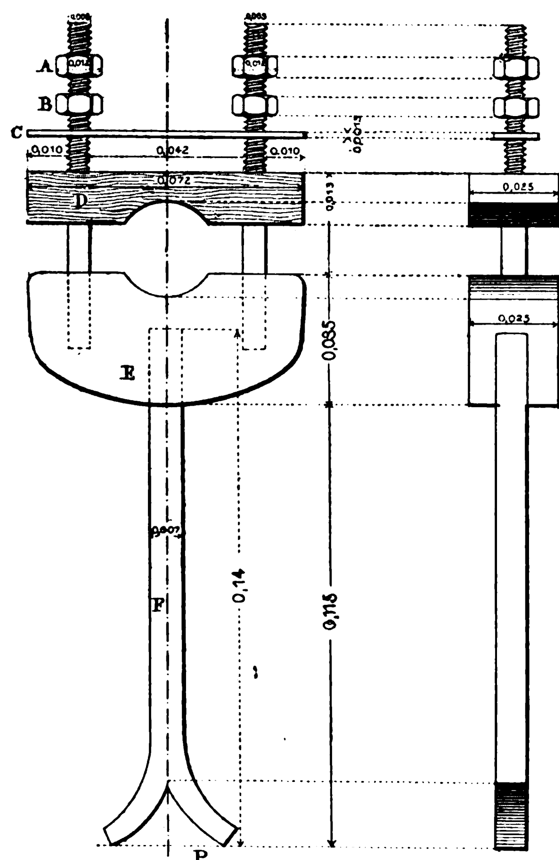


Fig. 3 et 4. — Détail des supports isolants. Plan et coupe. — A, contre-écrou ; B, écrou ; C, barrette en fer ; D, serre-câble en bois ; E, isolateur en porcelaine ; F, support à scellement.

MODIFICATION DU CANIVEAU

Main-d'œuvre de scellement. Fr.	5 »
Fournitures de ciment, etc.. . . .	2 50
Fournitures d'isolateurs.	2 50
Divers.	1 »
Total. . . .	11 »

Dans ces chiffres ne sont pas compris les frais de fouille et de réfection du sol qui sont indépendants du système proprement dit.

On voit que cette dépense est insignifiante et que le plus gros inconvénient consiste dans l'ouverture du caniveau ; mais, à moins d'abandonner les conducteurs et de refaire un réseau complet, ce à quoi on ne doit songer qu'en présence d'une nécessité inéluctable, on ne pouvait faire autrement.

Il y a lieu d'indiquer maintenant les résultats obtenus avec ce système et de les comparer avec ceux que donnaient les crochets en fer.

La vérification d'isolement du réseau a lieu par parties successives tous les mardis de chaque semaine. Les conducteurs sont disposés de façon à pouvoir être coupés facilement, ce qui n'offre aucun inconvénient, la distribution à 3 fils n'offrant qu'un voltage maximum de 220 volts. Le service des abonnés n'est ainsi interrompu provisoirement que dans la section essayée. Quand on opère sur un feeder, les distributeurs sont alimentés par les autres feeders, ce qui n'offre aucun inconvénient, la consommation du réseau étant faible à ce moment.

Les mesures sont faites avec un ohmmètre et une petite magnéto qu'on tourne à la main et qui produit un courant redressé sous 200 volts environ. L'ohmmètre indique les valeurs d'isolement jusqu'à 5 mégohms : au delà de cette valeur, il n'y a pas d'intérêt, en général, à connaître la valeur exacte.

Les résultats obtenus sont consignés sur un registre, et on peut ainsi suivre les variations de l'isolement d'une même section.

Pour montrer l'amélioration importante qui a été réalisée par la suppression des crochets en fer sur le même secteur, on donnera un extrait du registre.

Ce tableau (p. 255) montre que l'isolement est devenu 250 fois plus grand sur le fil négatif, 18 fois sur le fil intermédiaire et 16 fois sur le fil positif. L'isolement est, sur les trois fils, maintenant supérieur à 242.000 ohms, tandis qu'auparavant il n'en était pas ainsi, au moins sur les fils négatif et intermédiaire.

On peut remarquer en passant que l'isolement est toujours plus faible sur le fil négatif que sur le positif : c'est là une loi générale qui paraît se vérifier sur tous les réseaux, quel que soit le système de canalisation.

DATES	LOCALITÉS	NATURE de la partie de canalisation essayée	LONGUEUR	ABONNÉS branchés		ABONNÉS débranchés		OBSERVATIONS
				Isolement brut	Isolement kilométrique	Isolement brut	Isolement kilométrique	
								Nota. — L'isolement est donné, en mégohms; le minimum exigé par section essayée est 0,242 mégohm.
19 mai...	Rue.....	Distributeur fil —	60m	»	»	0,002	0,00012	Canalisation avec crochets en fer.
		fil O		»	»	0,06	0,0036	
		fil +		»	»	0,3	0,018	
12 juin. .	Rue.....	fil —	60m	»	»	0,5	0,03	Crochets remplacés par des isolateurs.
		fil O		»	»	1,1	0,066	
		fil +		»	»	5	0,3	

Après avoir indiqué les systèmes de canalisation que l'expérience a conduit à proscrire à Paris, il est intéressant de résumer les divers systèmes employés et conservés en exploitation courante par les divers secteurs, ainsi que le développement de chacun de ces systèmes : tel sera l'objet d'un prochain article, aussi sommaire que possible.

(*A suivre.*) A. MONMERQUÉ,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

FANAUX ELECTRIQUES DE GUERRE

Quand on fait abstraction du côté étroit et bestial de la destruction matérielle opérée pour ainsi dire mathématiquement dans les chocs de nations, on ne peut que se féliciter de chaque application nouvelle de la science pure à l'art de tuer, car chaque progrès dans cette voie, est le précurseur assuré d'une amélioration prochaine dans l'industrie pacifique. Entre mille exemples, que l'on considère les électro-sémaphores. Quels bienfaits n'en ont pas retirés la navigation civile et les services météorologiques ? Jamais un sacrifice aussi grand n'aurait été consenti pour de simples avis du temps : mais, la défense des côtes étant nécessaire, les édicules se sont dressés par douzaines sur les rocs les plus abrupts et, sentinelles perdues de nos rives les plus perfides, les sémaphores suivent à tout instant avec sollicitude, le trajet des navires de guerre, annoncent le passage ou l'arrivée des vaisseaux marchands, transmettent les avis de tempêtes, échangent à distance des dépêches, etc., le tout à l'aide d'un système très primitif de signaux à bras, et de pavillons variant de formes et de couleurs. Avec cette modeste ferraille, toute une phalange d'hommes dévoués sert en réalité aussi efficacement la cause de la paix, le trafic commercial, que la guerre, pour laquelle elle a été créée.

Dans cet ordre d'idées, le système de signaux de nuit Kaselowsky minutieusement exposé dans un ouvrage étranger (1) sur la navigation, paraît offrir un réel intérêt, un côté pratique qui servira sans doute quelque jour aux communications entre les navires et la terre, d'une manière plus rapide qu'aujourd'hui.

Il manque, il est vrai, dans les sémaphores, des fanaux, des machines et des transmetteurs électriques ; mais le dernier mot n'est pas dit et nous pouvons, en raison du goût très vif de l'humanité pour la destruction méthodique des masses, espérer sérieusement l'installation, au nom de Bellone, de tout un matériel de signaux électriques de nuit qui servira, en peu d'années, à communiquer en pleines ténèbres, avec toutes les flottes marchandes et peut-être à sauver plus d'existences humaines qu'il ne concourra à en détruire.

Le système dit « fanaux électriques Kaselowsky » est usité depuis peu dans la marine

(1) *Manœuvres des navires*, par M. Imperato (Hœpli, Milan).

militaire italienne. Il est simple et rapide. De plus, chaque signal devant être répété par les navires récepteurs, il y a là un mode de contrôle qui rend toute équivoque ou fausse interprétation à peu près impossible.

Dans ce procédé, on use de vingt combinaisons de fanaux rouges et blancs ; dix-huit représentent les consonnes usuelles, les deux autres n'ont pas de valeur littérale et désignent, l'une le *Livre des signaux*, l'autre le *Code international* et les nombres.

La combinaison « indice du livre des signaux » suivie de l'indice n° 2, constitue « l'indice du vocabulaire télégraphique ».

Le tableau ci-après montre l'ensemble des signaux électriques Kaselowsky, chaque disque noir représentant ici un fanal rouge, et chaque disque blanc, un fanal blanc.

Les lettres se signalent l'une après l'autre, à de courts intervalles.

Celui qui reçoit une transmission contrôle les combinaisons à mesure qu'elles lui sont signalées.

On répond « *compris* » par la combinaison T, quel que soit le livre auquel se rapporte le signal.

TABLEAU ALPHABÉTIQUE DES FANAUX ÉLECTRIQUES KASELOWSKY.

B { blanc blanc blanc blanc	H { blanc rouge blanc blanc	N { rouge rouge blanc blanc	T { rouge blanc rouge blanc
C { blanc blanc blanc rouge	J { blanc rouge rouge blanc	P { rouge blanc blanc rouge	V { blanc rouge
D { blanc blanc rouge rouge	K { blanc rouge blanc rouge	Q { rouge blanc blanc blanc	W { rouge blanc
F { blanc blanc rouge blanc	L { rouge rouge rouge rouge	R { rouge blanc rouge rouge	Indice du livre des signaux { bl. r.
G { blanc rouge rouge rouge	M { rouge rouge rouge blanc	S { rouge rouge blanc rouge	Indice du code des signaux { r. bl.

Si l'on n'a pas pu distinguer la combinaison, au lieu du « compris » on signale J.

Quand on ne saisit pas la signification du signal, au lieu du « compris » on emploie la combinaison V.

Lorsque le commandant en chef d'une force navale veut faire à tous les navires une transmission se rapportant au Livre des signaux, il signale d'abord « l'indice du livre des signaux » (2 fanaux blancs) qui dans ce cas représente le « commencement de transmission ».

Tous les navires répètent cette combinaison. Ensuite, s'il s'agit d'un seul signal, le commandant en chef fait les combinaisons qui le représentent et celles-ci sont répétées, une par une, par tous les navires.

En dernier lieu, le commandant fait trois fois le signal « indice du Livre des signaux » pour indiquer « fin de transmission ».

Tout cela est répété, coup pour coup, par les autres navires.

Après la répétition de la « fin de transmission » chaque vaisseau répond par « compris » ou J, ou V, suivant le cas.

S'il s'agit enfin, d'une transmission de deux ou plusieurs signaux, le commandant en chef fait, une seule fois, après chaque signal, la combinaison « indice du Livre des signaux » qui signifie dans ce cas « fin de signal » et, après le dernier, « fin de transmission ».

L'appareil qui permet l'échange de tous ces signaux, comprend 8 fanaux (4 rouges et 4 blancs) puis un transmetteur de courant.

Ces fanaux sont accouplés ; c'est-à-dire que sur un étai peu incliné, et à une distance d'au moins un mètre l'un de l'autre, sont disposés quatre doubles globes, les supérieurs, blancs, et les inférieurs, rouges. Un double conducteur relie chacun d'eux au transmetteur. Celui-ci, placé au pied du mât ou en tout autre point convenable, est éclairé par une lampe électrique. Il consiste en un tableau sur lequel sont indiquées, en deux colonnes distinctes, les 20 combinaisons (18 lettres et 2 signaux spéciaux). Au-dessous de chaque lettre, quatre bandes horizontales sont peintes en bleu et en rouge (le bleu correspondant au blanc des fanaux) selon les combinaisons de couleurs

fixées pour chacune des lettres. A gauche de chaque signal de la colonne de gauche et à droite de chaque signal de la colonne de droite se trouvent de petites manettes en bois, pouvant tourner autour d'un axe fixé dans le tableau.

En levant une manette jusqu'à ce qu'elle soit placée perpendiculairement au tableau, ou en l'abaissant, on ouvre ou l'on ferme le circuit électrique et par suite on allume ou l'on éteint les 2 ou les 4 fanaux représentant la combinaison à signaler.

Pour de petites distances, les navires emploient pour communiquer entre eux un système plus simple, portatif. C'est un fanal à deux feux, l'un rouge, l'autre blanc, avec double obturateur. On convient de représenter par le blanc, le point des signaux Morse, et par le rouge, les traits de cet alphabet.

Avec des émissions d'égale longueur mais différenciées par la teinte, on fait ainsi de la télégraphie, plus rapidement qu'avec les feux d'une seule couleur qui obligent à donner aux signaux des durées variables.

Il y a loin de la rapidité de transmission ainsi obtenue, aux manœuvres si lentes et si peu sûres des vénérables falots contemporains des plus antiques berlines. Comme la plupart des grands steamers modernes possèdent des installations d'éclairage électrique, il est à prévoir que les fanaux fixes entreront un jour ou l'autre dans le gréement et permettront la nuit, l'échange de communications aussi bien de croiseur à croiseur, que de paquebot à sémaphore, ou de croiseur à paquebot.

P. MARCILLAC.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Disposition des circuits pour bureaux téléphoniques à commutateurs multiples, par H. Engelmann (1).

Ce système cherche à diminuer le nombre de points de contact de chaque ligne téléphonique à l'intérieur du bureau et à permettre la réunion d'un nombre « presque illimité » de lignes dans un même bureau. Les bureaux sont réunis entre eux par des lignes de renvoi.

La figure 1 représente un commutateur multiple formé de plusieurs tables ; v_1 et v_2 sont les tableaux de renvoi, c'est-à-dire ceux contenant les annonciateurs des lignes de renvoi d'arrivée ; t_1 à t_4 représentent des tableaux de lignes d'abonnés ; l_1 est une ligne d'abonné, qui passe en multiple seulement dans les tableaux de renvoi et aboutit à un annonciateur du tableau t_1. l_2 est une ligne de renvoi de départ ; elle ne passe en multiple que dans les tableaux d'abonnés et sort ensuite du bureau pour se rendre à un autre bureau. l_3 est une ligne de renvoi d'arrivée allant directement à un annonciateur du tableau de renvoi v_2. Enfin, l_4 est une ligne de renvoi correspondant à l_2 et l_3; mais tandis que celles-ci relient les tableaux d'abonnés d'un bureau à un des tableaux de renvoi d'un *autre* bureau, la ligne l_4 conduit des tableaux d'abonnés d'un bureau à l'un des tableaux de renvoi du *même* bureau.

On peut d'ailleurs réunir l_4 et l_2 en une seule ligne en remplaçant la partie de l_2 comprise entre le point *o* et l'annonciateur par le fil indiqué en trait ponctué réunissant l_2 à l'extrémité isolée de l_4. Ce mode de montage des lignes de renvoi est aujourd'hui beaucoup en usage, mais il est préférable de l'éviter, d'abord parce qu'il emploie plus de contacts que lorsque les lignes l_2 et l_4 sont indépendantes, et ensuite pour des raisons économiques, la ligne entière conduisant à l'autre bureau restant inutilisée, tant que la ligne de renvoi sert à établir une communication à l'intérieur du bureau lui-même.

Sur l'appel d'un abonné l_1, son annonciateur tombe ; l'abonné appelant demande tout d'abord le bureau de l'abonné demandé.

Supposons que ce soit le bureau III que demande l'abonné appelant faisant lui-même partie du bureau I ; la communication est alors établie avec le bureau III à l'aide de la ligne l_2. Au bureau III, l_2 correspond à la ligne l_3 du

(1) *Elektr. Zeitschr.*, novembre 1894.

dessin, ligne qui mène directement à l'annonciateur du tableau de renvoi, où s'établit ensuite la mise en relation définitive avec l'abonné demandé.

Le groupe des tableaux de renvoi est considéré comme une section du bureau entier, et désigné par I*a*, pour le distinguer du groupe I des tableaux d'abonnés.

Si l'abonné l_1 désire converser avec un abonné du même bureau (I), il demande d'abord le bureau I; l'employé relie alors l_1 avec l_4; c'est alors au tableau v_1 que s'établit la mise en communication des deux abonnés.

Comme on le voit, on pourrait transformer les bureaux actuels tout en conservant le matériel existant; les lignes de renvoi entre bureaux subsistent et on y ajoute un certain nombre de lignes de renvoi locales dans chaque bureau.

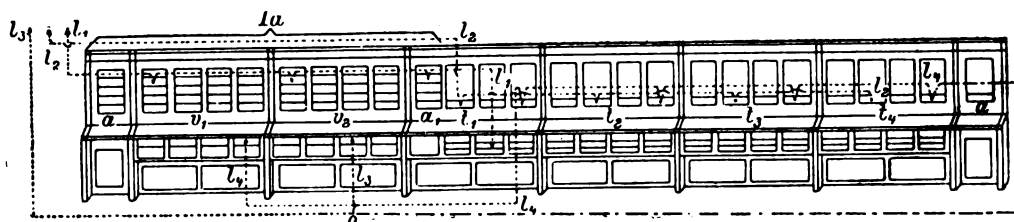


Fig. 1. — Tableau téléphonique multiple.

La capacité qu'offrent les tableaux commutateurs actuels peut suffire pour longtemps encore, dans les tableaux d'abonnés, pour recevoir les jacks de renvoi, chaque tableau pouvant contenir 6,000 jacks. Il n'en est pas de même pour les tableaux de renvoi, qui reçoivent, comme on l'a vu, les jacks d'abonnés. Dès que le nombre d'abonnés reliés à un même bureau dépasse 6.000, le bureau recoit un nouveau groupe de tableaux de renvoi désignés par I*b*. Une partie des abonnés seraient alors attribués au groupe I*a*, l'autre au groupe I*b*. Le montage du bureau, dans ce cas, est indiqué par la figure 2.

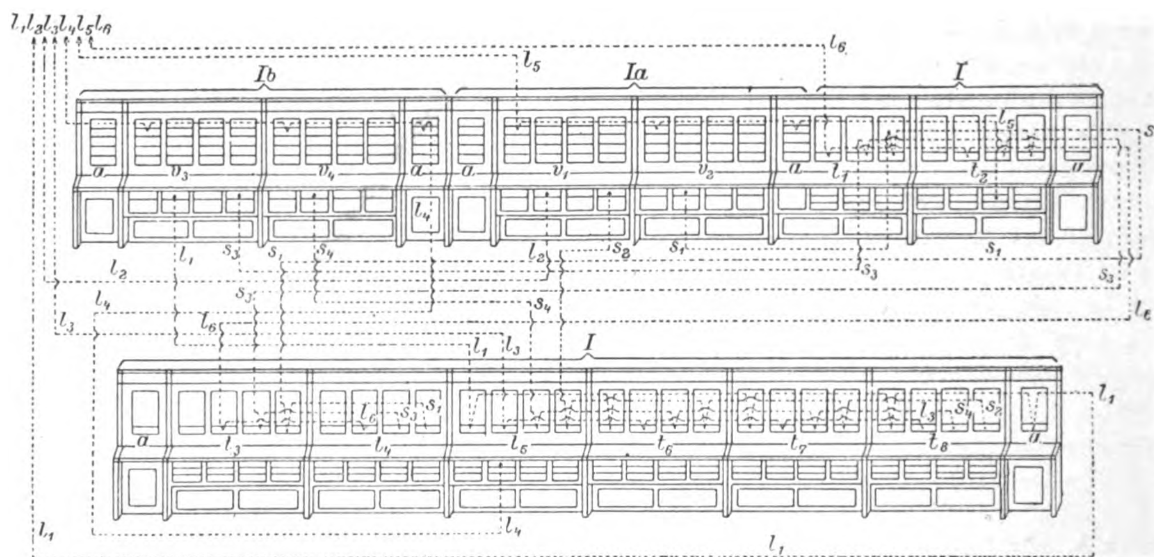


Fig. 2. — Tableau téléphonique multiple de M. H. Engelmann.

Les lignes d'abonnés ne sont donc montées en multiple que dans les tableaux de renvoi et les lignes de renvoi ne passent en multiple que dans les tableaux d'abonnés ; ces lignes comportent donc un nombre de contacts moindre que dans le système actuel.

Dans ce schéma, les tableaux d'abonnés t_1 à t_8 sont désignés par I, les deux groupes v_1 v_2 et v_3 v_4 des tableaux de renvoi par I*a* et I*b*. s_1 à s_4 représentent les lignes de renvoi locales. l_2 est une ligne de renvoi d'arrivée pour le groupe I*a*, l_1 une ligne semblable pour le groupe I*b*. l_2 correspond à la ligne l_3 de la figure 1, tandis que le parcours de l_1, qui ne passe en multiple que dans les tableaux t_5 à t_8 avant d'arriver à l'annonciateur, correspond à la réunion de l_3 avec l_4 dans la figure 1.

Le montage peut être fait soit comme l_1 soit comme l_2. Dans le premier cas, les lignes d'intercommunication locales s_1 à s_4 sont supprimées, puisque l_1 en tient lieu. l_3 est une ligne de renvoi de départ affectée aux tableaux t_5 à t_8, et l_6 une ligne semblable pour les tableaux t_1 à t_4. l_4 est une ligne d'abonné du groupe I*b* et l_5 une ligne d'abonné du groupe I*a*.

Un abonné l_4 du tableau t_3 demande-t-il à être mis en communication avec un abonné l_5 du tableau t_2, l'employé relie d'abord la ligne l_4 avec s_2, puis on établit au tableau v_1 la communication entre s_2 et l_5.

Dans ce montage toutes les lignes d'abonnés ne sont donc reliées en multiple que dans les tableaux de renvoi de leur groupe, et de même les lignes de renvoi ne passent que dans les tableaux d'abonnés du groupe correspondant.

A. H.

Analys de tuyaux électrolysés par J. Rigge (1).

L'auteur eut l'occasion d'analyser des fragments de tuyaux qui avaient été profondément corrodés par le courant d'un tramway à retour par les rails et la terre. Les rails n'étant pas, en somme, des conducteurs de résistance négligeable, il est de toute évidence que des dérivations de courant doivent s'établir à travers les couches de terre humide et surtout à travers les tuyaux métalliques voisins de la voie du tramway. A l'endroit où le courant abandonne les tuyaux pour retourner aux rails, il entraîne, par corrosion électrolytique, des particules de métal et en peu de temps, de petites cavités et même des perforations indiquent l'endroit d'où le courant s'échappe. Le fait des ravages que peut ainsi exercer l'action électrolytique des courants dérivés est indéniable. Le voltmètre permet d'ailleurs d'en déceler l'existence certaine.

A Omaha (États-Unis), l'auteur a pu faire à ce propos quelques mesures. A l'usine centrale, il existait entre la canalisation d'eau et les rails une différence de potentiel de 3 à 6 volts; un courant de 30 ampères circulait entre les deux conducteurs et on pouvait faire fonctionner un moteur de 1/8 de cheval, en le reliant aux tuyaux à eau. En un autre point, où le sol est sec, on a constaté un courant de 4 à 9 ampères sous une différence de potentiel de 1 3/4 à 3 1/2 volts.

Dans certains cas de corrosion de tuyaux, le courant agit peu à peu sur une surface plus ou moins grande, où la paroi s'amincit jusqu'à ce qu'elle s'écaille. Ces fragments électrolysés sont extrêmement légers. Quatre échantillons examinés avaient les densités 2,36; 3,06; 1,88 et 1,54; le dernier ressemble à du coke comme poids et comme apparence. Si l'on considère que la densité de la fonte est de 7, on est amené à se demander ce qu'est devenu le fer et quelles modifications ont eu lieu. Pour résoudre cette question de la façon la plus rationnelle, l'auteur a traité ces fragments par l'électrolyse, continuant ainsi l'action à laquelle ils avaient été soumis.

Un fragment qui avait subi en terre l'action du courant dérivé des rails fut pesé et suspendu dans de l'acide chlorhydrique dilué avec, à une certaine distance, une électrode en platine reliée à la canalisation d'eau. Après fermeture du circuit un courant passait dans le liquide, faisant dégager de l'hydrogène et dissolvant le fer sous forme de chlorure. Le liquide fut renouvelé plusieurs fois, jusqu'à ce qu'il ne contînt plus trace de fer. Le fragment, alors exempt de fer, fut séché et pesé. Il avait perdu 56 p. 100 de son poids; la différence fut retrouvée sous forme de fer dissous dans le liquide.

(1) *Gas World*.

Le fragment dépourvu de fer avait conservé sa forme primitive, mais il était léger et fragile. L'analyse indiqua qu'il était composé de 29 de graphite, 13,37 de silice et 1,15 de manganèse, p. 100 de la composition primitive, avec des traces de soufre et de phosphore. L'analyse complète des fragments de fonte électrolysée a donc donné le résultat suivant :

Fer	56,17	poids spécifique 1,88.
Graphite.	29,00	
Manganèse. . . .	1,15	
Silice	13,37	
Soufre, phosphore.	traces	
	99,71	

Voici, à titre de comparaison, la composition d'un échantillon de fonte grise :

Fer	90,58	poids spécifique 7.
Graphite non combiné	3,70	
Silice	4,14	
Manganèse . . .	0,83	
Soufre, phosphore.	traces	
	99,25	

On comprend maintenant comment nos tuyaux de canalisation perdent le fer qui leur donnait la résistance et comment l'électrolyse ne laisse subsister qu'une frêle paroi de graphite, incapable de résister même à la pression ordinaire de l'eau. Ces résultats sont d'ailleurs vérifiés par l'analyse du sol entourant les parties électrolysées. Plusieurs échantillons de terre ont été trouvés riches en fer emprunté aux tuyaux.

Il est à noter que les fragments corrodés contiennent énormément de graphite. Le fait que les tuyaux se corrodent par place peut être dû à des défauts dans la fonte. Ces endroits contenant plus de charbon seraient ceux que l'électrolyse choisit de préférence.

Quant aux moyens à employer pour éviter ces actions destructrices, l'auteur en énumère un certain nombre.

1° On a proposé de renverser le sens du courant [1];

2° L'isolement des canalisations et des câbles, souvent proposé, paraît impraticable;

3° Le moyen le meilleur consiste à retenir autant que possible le courant dans les rails en réunissant ceux-ci soit par soudure électrique, soit à l'aide de forts conducteurs en cuivre. C'est que l'on fait à Brooklyn;

4° Enfin, on peut relier le circuit de retour aux tuyaux les plus voisins, c'est-à-dire d'établir entre eux et les rails des ponts excluant la terre et évitant ainsi l'électrolyse.

En tout cas, il est utile de faire de fréquentes mesures des voltages pouvant exister entre les canalisations d'eau ou de gaz et les canalisations électriques. A. H.

(1) Ce moyen n'en est pas un, puisqu'en l'employant on ne fait, en somme, que déplacer le lieu où le courant sort des tuyaux, ce qui ne supprime pas l'électrolyse, mais la fait agir seulement sur une autre partie de la canalisation.

Mesures faites sur des piles thermo-électriques Gülcher, par C. Brüggemann [1].

Ces mesures ont été faites sur 4 piles composées chacune de 66 éléments. Deux d'entre elles, les n°s 263 et 228, avaient fonctionné pendant 200 heures, une troisième (n° 333) était en usage depuis plus longtemps déjà, la quatrième servait depuis environ deux ans à charger des accumulateurs.

Pour les expériences dont il va être question on s'est servi des piles n°s 263 et 228 couplées en série. On a déterminé la puissance totale, la puissance extérieure utile et la puissance intérieure. Ces facteurs permettaient de calculer la résistance intérieure r par le calcul suivant :

$$E = E_0 + i_0 r$$
$$I = I_a + i_g$$
$$Ir = E - E_g = E_0 + i_0 r - E_g,$$
$$r = \frac{E_0 - E_g}{I - i_0} = \frac{E_0 - E_g}{I_a + i_g - i_0}.$$

On appelle : E la force électromotrice de la pile; E_0 la différence de potentiel à circuit principal ouvert; i_0 le courant indiqué par le galvanomètre de torsion servant à la mesure de E_0; E_g la différence de potentiel aux bornes à circuit principal fermé; i_g le courant dans le

(1) *Elektrot Zeitschr.*

galvanomètre pendant la mesure de E_g ; I_a le courant dans le circuit principal ; I le courant total fourni par la pile.

Les résultats des mesures des puissances sont donnés par les courbes de la figure 1. Dans ces mesures, la pression du gaz à l'entrée était maintenue constante à 30 millimètres d'eau.

La résistance des deux piles en série a été trouvée de 1,56 ohm.

Le maximum de la puissance utile a lieu, comme le montre la figure 1, lorsqu'elle est égale à la puissance perdue à l'intérieur de la pile. Le point d'intersection des deux courbes correspond à une abscisse de 2,51 ampères et

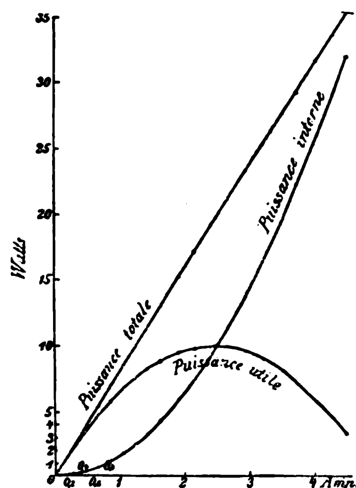


Fig. 1. — Courbes des puissances d'une pile thermo-électrique Gülcher.

à une ordonnée de 9,9 watts. La différence de potentiel correspondante se tire de la figure 2, dont les deux courbes indiquent la différence de potentiel aux bornes et la chute de potentiel inférieure aux différents régimes. Le point d'intersection des deux lignes, qui correspond également au maximum de la puissance utile, a pour ordonnée 3,92 volts.

D'autres mesures avaient pour but d'étudier la relation entre la force électromotrice et la pression du gaz. Comme il faut un certain temps pour l'établissement d'un régime constant des piles après une variation de pression du gaz, il fallait maintenir celle-ci constante au moins pendant 15 minutes ; mais comme cette condition est assez difficile à réaliser, on a fait 3 séries de mesures, dont la moyenne est donnée par la courbe pointillée de la figure 3. Cette courbe coïncide, pour des pressions

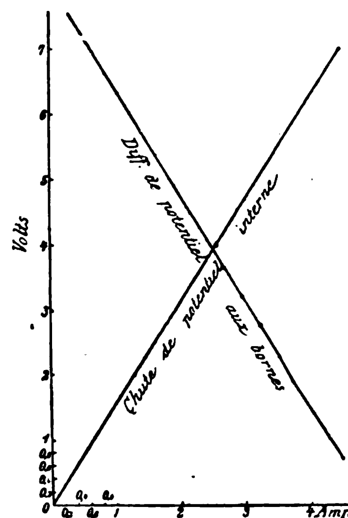


Fig. 2. — Courbes des différences de potentiel d'une pile thermo-électrique Gülcher.

supérieures à 11 millimètres avec une parabole de l'équation

$$E = \sqrt{2{,}098\, p}$$

en appelant p la pression du gaz. Cette parabole est représentée en trait plein sur la figure 3.

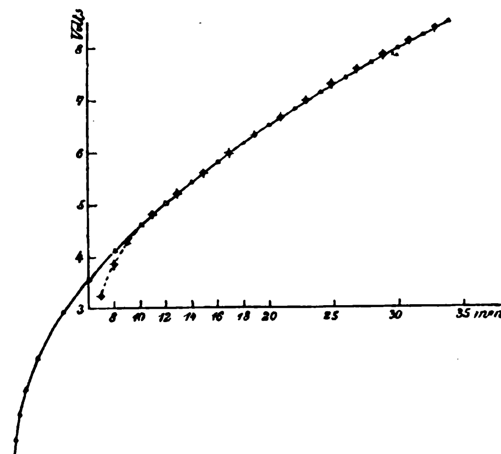


Fig. 3. — Variation de la force électromotrice d'une pile Gülcher avec la consommation de gaz.

Comme le volume de gaz débité est proportionnel à la racine carrée de la pression, on peut conclure d'après ce qui précède que la

force électromotrice est directement proportionnelle à la consommation de gaz, au moins pour les pressions comprises entre 11 et 34 millimètres d'eau.

Ce fait peut être utilisé dans certaines circonstances. Lorsqu'il s'agit de diminuer la puissance fournie par la pile, on peut, au lieu d'intercaler des résistances qui dissipent inutilement de l'énergie, atteindre ce résultat en diminuant la pression du gaz.

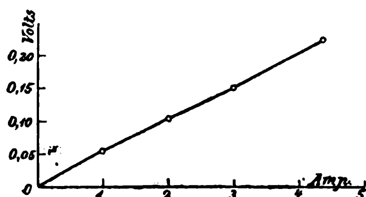


Fig. 4. — Courbe de la force contre-électromotrice due au transport de chaleur des soudures chaudes aux soudures froides dans une pile Gülcher.

Par une autre série de mesures on a déterminé également la force contre-électromotrice due au transport de la chaleur des soudures chaudes aux soudures froides. Ce facteur n'atteint, pour un débit de 4 ampères, que 0,227 volt, comme le montre la figure 4; on voit qu'elle n'influe guère sur la constance de la force électromotrice à chaque régime.

Le mode d'accroissement de la force électromotrice lors de l'allumage des flammes, est représenté par la courbe supérieure de la figure 5, qui a pour abscisses le temps et pour ordonnées la force électromotrice. De même la courbe inférieure de cette figure montre comment diminue peu à peu la force électromotrice pendant le refroidissement de la pile après l'extinction des flammes.

Ces expériences montrent que pour obtenir la tension normale, il faut attendre au moins 24 minutes.

Voici les résistances à froid et à chaud des 4 piles Gülcher examinées (en ohms) :

Nos	à chaud	à froid
263	0,775	0,626
228	0,786	0,637
306	0,912	0,745
333	0,808	0,642

La pile n° 306 avait été en fonctionnement continu pendant près de deux ans. Comme toutes ces piles ont toujours été manipulées avec les précautions indiquées par le constructeur, il est permis de conclure que pendant leur fonctionnement la résistance intérieure augmente d'abord assez rapidement, ensuite plus lentement. La résistance initiale était, en effet, pour ces piles de 0,59 ohm. Les piles nos 263 et 228 n'avaient fonctionné que pendant 200 heures environ, et la pile 333 pendant au plus 500 heures.

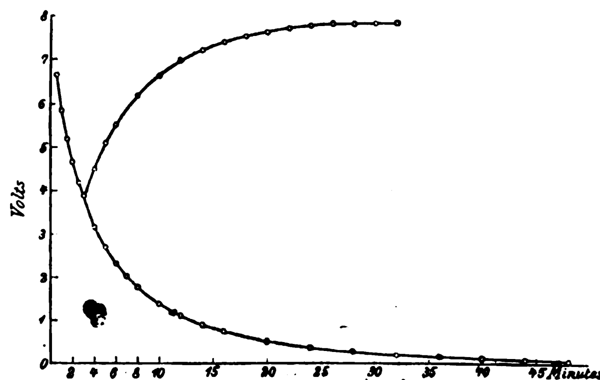


Fig. 5. — Variation de la force électromotrice lors de l'allumage des flammes.

La détermination de la consommation de gaz à la pression de 30 millimètres d'eau a donné pour la pile 263 un débit de 164 litres à l'heure, avec une force électromotrice produite de 3,97 volts.

A. H.

La station centrale de Chemnitz.

La ville de Chemnitz a fait construire, en 1893-1894, une usine génératrice d'énergie électrique par la maison Siemens et Halske, qui en a également entrepris l'exploitation moyennant une redevance fixe et un certain intérêt sur les bénéfices. Cette usine a été mise en service en juillet dernier.

Les conditions locales ont fait adopter le système des courants triphasés, car il s'agissait de franchir des distances assez considérables et de fournir le courant à la fois pour l'éclairage et pour la mise en mouvement d'un nombre assez important de moteurs.

La vapeur est produite par trois chaudières Steinmuller de 151,6 mètres carrés de surface de chauffe chacune et timbrées à 12 atmosphères. Ces chaudières sont munies de chargeurs automatiques du système Leach actionnés par un petit moteur à champ tournant. Toute la tuyauterie de vapeur est doublée de façon à éviter les arrêts, par suite d'un accident à la canalisation de vapeur.

Le bâtiment des machines contient trois moteurs à vapeur verticaux à triple expansion avec condensation. La course du piston est de 400 mm. et les trois cylindres sont respectivement alésés à 265, 420 et 675 mm. de diamètre. Ces machines fournissent, à 150 tours par minute avec 11 atmosphères de pression, 150 chevaux en marche normale, et 220 chevaux au maximum. Les tiroirs sont réglés automatiquement par le régulateur.

Comme disposition nouvelle on remarque une construction également employée à Dresde par la maison Siemens et Halske, et qui permet de régler l'arrivée de vapeur au tableau de distribution. A cet effet, on a muni les différentes machines de petits moteurs électriques intercalés dans le circuit principal des machines excitatrices, et que des commutateurs placés sur le tableau de distribution permettent de faire tourner dans un sens ou dans l'autre; ces moteurs déplacent, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, un poids chargeant plus ou moins le régulateur.

L'arbre du croisillon des machines polyphasées est accouplé directement avec celui des machines à vapeur. Ces dynamos sont du type R de la maison Siemens et Halske; elles fournissent par circuit 52 ampères sous 2.000 volts et ont donc une puissance totale de $52 \times 2.000 \times \sqrt{3}$ watts = 180 kilowatts. Le marbre porte l'armature de la machine excitatrice Siemens, type J, 120 volts. Le nombre des pôles étant de 40, ces dynamos donnent 3,000 périodes par minute.

Comme ces machines portent des enroulements auxiliaires donnant une tension 80 fois moins élevée que celle du courant principal, on peut supprimer les petits transformateurs qui servent habituellement à mesurer la tension et au couplage en parallèle. Cette dernière opération a lieu lorsque la coïncidence des phases est constatée dans les enroulements auxiliaires des machines.

Les câbles à haute tension sont à trois conducteurs concentriques revêtus de plomb. Les transformateurs répartis entre les différents quartiers de la ville réduisent la tension de 2.000 volts à 120 volts. Le courant à basse tension est distribué à l'aide de câbles concentriques.

Le nombre des transformateurs est actuellement de 24. Le réseau de distribution est calculé pour 10.000 lampes de 16 bougies en fonctionnement simultané.

Le centre du réseau se trouve à environ 1,6 km. de la station centrale, et le point le plus éloigné est à 3,2 km.

Les transformateurs sont construits pour une puissance de 500 kilowatts. Ils ont été placés avec leurs commutateurs et coupe-circuits à l'intérieur de colonnes en fer d'environ 4 mètres de hauteur et 1,2 m. de diamètre.

La longueur totale du réseau à basse tension est d'environ 18 kilomètres; son isolement par rapport à la terre varie, pour les trois conducteurs, de 446 à 172 mégohms ; tous les transformateurs étant reliés au réseau, l'isolement mesuré avec 109 volts est de 210,000 ohms.

Le réseau à haute tension a un développe-

ment de 10,126 kilomètres; les trois conducteurs ont respectivement un isolement de 301, 150 et 114 mégohms; avec les transformateurs la résistance d'isolement totale du réseau, mesurée à 965 volts, est de 401.000 ohms. Pour les capacités des câbles à haute tension (réseau entier) on a trouvé :

Entre le conducteur central et les deux autres conducteurs reliés à la terre. . .	0,47	microfarad.
Entre le conducteur intermédiaire.	1,06	—
Entre le conducteur extérieur.	2,12	—

Des déterminations intéressantes ont été faites par la maison Siemens et Halske sur ses

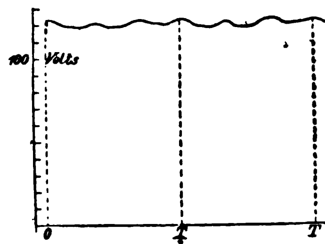


Fig. 1. — Courbe du courant d'excitation.

dynamos à courants triphasés; elles ont eu pour but de construire la courbe exacte du courant alternatif, ainsi que du courant continu d'excitation. L'appareil employé comporte un petit moteur à champ tournant, dont l'inducteur est alimenté avec le courant de la machine à étudier. Mais l'armature du moteur n'est pas en court circuit; il est alimenté par le courant continu de la machine d'excitation, de sorte qu'il tourne synchroniquement. L'arbre du moteur porte des bagues et des contacts qui, à chaque tour de l'induit, mettent à un certain moment un condensateur en communication avec le circuit parcouru par le courant à étudier, et déchargent immédiatement après ce condensateur dans un galvanomètre. Celui-ci donne, dans ces conditions, une déviation constante indiquant la tension du courant pour la phase correspondante. On peut ainsi déterminer pour chaque période 72 points différents de la courbe du courant.

Nous donnons dans les figures 1, 2 et 3, empruntées à l'article de M. Weinold dans l'*Electr. Zeitsch.*, les courbes déterminées pour la machine chargée, la machine à circuit ouvert, et le courant d'excitation. La figure 1 montre la forme de ce dernier; on y distingue nettement une période due à la réaction de l'induit; la fréquence est le sextuple de celle du courant fourni par la machine triphasée. En appelant T la période, t le temps, le courant d'excitation a pour formule approchée :

$$1 + \frac{1}{66} \sin \left(\frac{12 \pi t}{T} + \frac{\pi}{2} \right).$$

La courbe du courant de la machine non

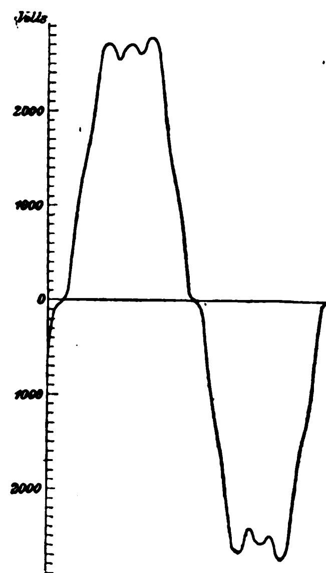


Fig. 2. — Courbe du courant des alternateurs à vide.

chargée est donnée par la figure 2; elle est, à peu de chose près, symétrique par rapport à l'axe des abscisses; on peut la représenter par la formule :

$$\sin \frac{2 \pi t}{T} + 0{,}087 \sin \left(\frac{10 \pi t}{T} + \pi \right) + 0{,}052 \sin \left(\frac{22 \pi t}{T} + \pi \right).$$

La courbe de la machine chargée (fig. 3) est disymétrique par rapport aux maxima, mais symétrique par rapport aux abscisses. Une courbe de forme très rapprochée de celle-ci a pour formule :

$$\sin \frac{2 \pi t}{T} + \frac{1}{15} \sin \left(\frac{10 \pi t}{T} + \frac{3 \pi}{2} \right).$$

Pour la pratique, il est important de noter que ces courbes diffèrent peu de la fonction sinus.

Le réseau de Chemnitz alimentait, fin novembre dernier :

5.220 lampes à incandescence,

122 lampes à arc,

29 moteurs électriques d'une puissance totale de 62,3 chevaux.

Les moteurs du type de la maison Siemens

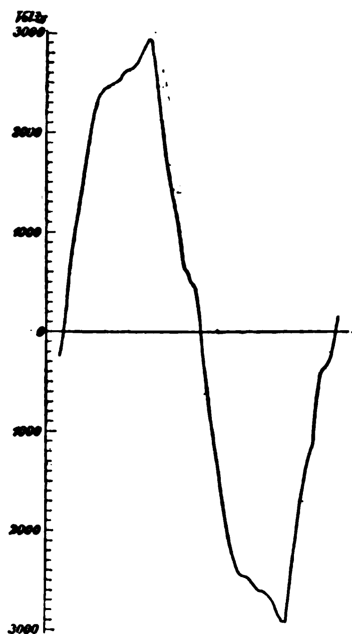


Fig. 3. — Courbe du courant de l'excitateur en charge.

ont un rendement très élevé. Voici les chiffres pour un moteur de 4 chevaux.

Charge en chevaux.	Rendement p. 100.
0,5	50
1	68
2	83
3	87
4	87
5	87
6	87
7	86

Le prix de vente de l'énergie électrique est très peu élevé, surtout pour les applications de la force motrice. Le kilowatt-heure pour éclairage est vendu 88,5 centimes, et pour la force motrice seulement 22,5 centimes. Les consommateurs peuvent également payer un prix de location à l'année pour les moteurs, prix basé sur les indications de compteurs horaires. Dans ce cas, le prix du cheval-heure revient à 17,5 centimes. A. H.

La fabrication des charbons de lampes à arc en Amérique, par B. F. Miles (1)

Les charbons sont à la lampe à arc voltaïque ce que la mèche est à la lampe à huile ou le brûleur au bec de gaz.

Le meilleur régulateur ne pourra pas plus donner une lumière brillante avec de mauvais charbons, que de bons charbons avec une mauvaise lampe. Les uns pâtissent toujours des défauts des autres, et un ensemble parfait doit être réalisé pour obtenir des résultats satisfaisants.

Pour l'observateur superficiel, les charbons sont peu intéressants dans les lampes à arc ; il n'y voit qu'un cylindre variant de diamètre et de longueur, qui a l'apparence extérieure du charbon ou bien qui est recouvert d'une couche métallique de cuivre ou de nickel ; les charbons nus sont surtout employés en Europe, et les charbons métallisés en Amérique. Ils ont une longue histoire, et les procédés de fabrication par lesquels on les obtient sont extrêmement intéressants.

Depuis qu'en 1809 Sir Humphry Davy découvrit l'arc électrique, de nombreux essais furent effectués en Europe, pour fabriquer ces charbons au moyen de divers mélanges. Mais l'éclairage électrique n'était pas alors assez répandu ; il n'était guère employé que dans les recherches scientifiques ; deux ou trois industriels le fabriquaient en Europe ; son prix était tellement élevé qu'il était prohibitif. En 1876, le principal fabricant français vendait chaque charbon de 1 fr. 75 à 2 francs.

Cependant, avec le développement merveilleux de la machine dynamo et de l'éclairage électrique qui en fut la conséquence, ce produit prit une importance considérable et il ne tarda pas à être fabriqué par des pro-

(1) *The Electrical World*, 5 janvier 1895.

cédés mécaniques, en grande quantité et à bas prix.

La première question à résoudre était de trouver une matière première convenable. Des nombreux produits proposés, le charbon des cornues à gaz semblait le plus pratique ; mais les différentes impuretés qu'il contient et sa nature réfractaire, étaient une source continuelle d'accidents et d'insuccès. Cependant, jusque vers la fin de l'année 1878, ce fut ce produit qu'on employa ; les charbons avaient alors la forme rectangulaire et leurs extrémités étaient arrondies.

Le premier fabricant américain fut David Thompson, de Newark (N. J.). Son usine était établie dans une petite construction en bois, haute de deux étages seulement ; elle n'avait que 6 mètres de largeur et 9 mètres de longueur. Un mortier à main, un four élémentaire en briques, une auge pour préparer le mélange, un blutoir, un ensemble de meules, quelques moules en fer ou en acier, tel était l'agencement. Malgré cette installation un peu primitive, l'inventeur faisait d'assez avantageuses affaires.

L'état actuel de cette industrie en Amérique est principalement dû à MM. Charles F. Brush et Washington, H. Lawrence. M. Brush utilise comme matière première le coke de pétrole, résidu de la distillation de l'huile de pétrole brute.

Depuis longtemps, la Standard Oil Company employait ce produit comme combustible ; son apparence extérieure rappelle entièrement celle du coke de houille.

C'est du carbone pur, mais, comme l'anthracite pur, il n'est pas conducteur de l'électricité à l'état brut ; pour le rendre conducteur, il faut le porter d'abord à une haute température. C'est ce que M. Brush ne tarda pas à reconnaître.

Il fallait étudier ensuite quel était le grain le plus favorable à adopter, puis l'agglutinant à employer pour obtenir une masse solide et homogène. M. Brush reconnut que, pour ce dernier point, le goudron de houille donnait les meilleurs résultats. Cette substance a toujours été employée depuis ; on y a ajouté quelques autres substances indiquées par la pratique journalière, mais celles-ci sont tenues secrètes, et, après la cuisson, il est très difficile de déterminer la nature exacte du composé.

La première usine créée existe encore ; elle forme une annexe de la Brush Electric Company, à Claveland. Beaucoup d'autres ont été établies sur son modèle.

Le procédé de fabrication est à peu près partout le même. Voici en quoi il consiste :

Le coke de pétrole est d'abord broyé ; il est ensuite porté à une haute température dans des cornues où il séjourne de 10 à 50 heures suivant la qualité désirée du produit définitif ; cette opération a pour but de dessécher le coke et de lui donner ses propriétés conductrices. Ensuite, le charbon est finement pulvérisé, puis il est tamisé et enfin mélangé avec l'agglutinant.

Ces opérations, très simples à décrire, offrent dans la pratique de sérieuses difficultés, car le coke de pétrole de bonne qualité est presque aussi dur que la poussière de diamant ; les machines doivent être construites avec le plus grand soin et doivent être très résistantes ; chacune des opérations demande à être conduite avec une grande habileté. Lorsque le charbon sort des meules, il présente l'aspect de farine de blé qui serait teinte en noir.

Pour combiner cette « farine de charbon » avec le goudron, ce dernier est d'abord pulvérisé dans un broyeur ordinaire ; les proportions de charbon, de goudron et des autres matières, varient suivant la consistance qu'on désire obtenir. Le mélange, contenu dans des sortes de marmites, est chauffé modérément de 15 minutes à 1 heure et agité constamment. Sous l'action de la chaleur, le goudron s'attache aux particules de charbon et, à la fin de l'opération, l'ensemble a l'apparence de cailloux noirs de dimensions variées mélangés avec du sable noir.

Après refroidissement, ce mélange est encore broyé, pulvérisé et tamisé, afin d'obtenir une poudre de grain uniforme.

Il faut maintenant donner au charbon sa forme définitive. On emploie deux procédés différents suivant l'usage auxquel on destine les charbons.

Dans le premier, les charbons sont « moulés ». Les moules sont en acier, partagés par moitié, et munis de raînures du diamètre et de la forme voulus (fig. 1). Le métal dont ces moules sont faits doit être de qualité supérieure, sans quoi il se déformerait sous l'énorme pression employée dans les opérations ultérieures.

Les ouvriers mouleurs pèsent la poudre, la distribuent également sur la surface entière du moule, qu'il referment ensuite. On chauffe lentement, ce qui a pour effet d'amolir le mélange et d'en faire une pâte épaisse. Quand

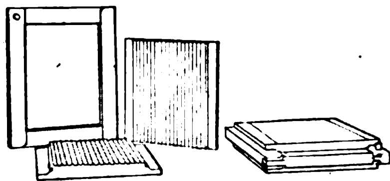


Fig. 1. — Moules en acier pour la fabrication des charbons à arc.

la température convenable est atteinte, le moule est placé sous la presse hydraulique, et soumis à une pression qui varie entre 100.000 et 400.000 kilos.

Le moule est alors démonté et la plaque de charbon est retirée avec soin ; lorsqu'elle est refroidie, chaque bâtonnet est séparé de son voisin auquel il tenait par une petite bandelette ; il présente alors la forme d'un cylindre parfaitement régulier.

Comme nous l'avons dit plus haut, les premiers charbons fabriqués avaient une section rectangulaire. On les fait maintenant cylindriques et leur extrémité est effilée comme celle d'un crayon à écrire. Ces modifications ont été suggérées à M. Brush par l'observation de la forme que les charbons prenaient en brûlant.

Il nota que ceux dont la section était circulaire portaient beaucoup moins d'ombre que les premiers, et qu'en outre, tous tendaient, en brûlant, à se tailler en pointe ; la lumière ne devenait fixe qu'autant qu'ils avaient acquis cette forme.

La première observation, bien que très importante, ne pouvait donner lieu à la prise d'un brevet. Mais la dernière, qui procure des économies réelles, à la fois dans le prix de fabrication et dans la première demi-heure d'éclairage, a été brevetée par MM. Brush et Lawrence. Les brevets américains sont encore valables.

Les charbons destinés à être brûlés dans des lampes alimentées par des courants continus à intensité constante sont moulés. Ceux qui doivent être brûlés dans des lampes à potentiel constant ou à courants alternatifs sont généralement « pressés ». Quelquefois ils sont munis d'un noyau ou mèche, en charbon moins dur, afin d'assurer la fixité de la lumière.

La poudre de charbon mélangée à son agglutinant est placée dans des cylindres longs de 15 centimètres environ et dont le diamètre varie de 5 à 15 centimètres. Ces cylindres sont placés devant le piston d'une presse hydraulique horizontale qui force la pâte à passer par une filière de forme adaptée. Les cylindres de charbon sont reçus, à leur sortie de la filière, sur une table et coupés à la longueur voulue. Les charbons creux sont fabriqués par les mêmes procédés ; la forme de la filière varie seule. On emploie différentes substances pour former la mèche des charbons, mais leur composition est généralement tenue secrète.

Les charbons ainsi obtenus sont connus sous le nom de « charbons verts » (green carbon) ; ils sont d'un noir brillant, très lourds, se cassent aisément et, quand on les choque les uns contre les autres, ils ne rendent qu'un son mat.

Il faut les cuire, afin d'en expulser les matières volatiles qu'ils contiennent encore. Cette opération exige une grande délicatesse de main-d'œuvre et des soins très grands. Si la cuisson est trop rapide, ils gauchissent et ne peuvent être taillés ; si elle est insuffisante, la conductibilité est trop faible et la lumière est mauvaise.

Dans les premiers temps, la cuisson se faisait en plaçant chaque charbon dans un moule et en plaçant un certain nombre de ces moules dans une large cornue. Ce procédé était très coûteux ; il fut abandonné pour le suivant dans lequel les charbons sont placés eux-mêmes dans un grand four, analogue à celui des potiers ; ce procédé est employé principalement en Europe. En Amérique, presque tous les fabricants opèrent comme il suit : les charbons sont disposés en couches alternatives avec du sable, dans de grands fours rectangulaires ; la masse entière, protégée par une couverture épaisse de plusieurs pouces, est soumise, dans ces conditions, à une température de 1100 à 1700 degrés C. La durée de la cuisson est très longue. Peu de fours sont démontés avant une période de cuisson de deux semaines.

Il y a plusieurs méthodes de cuisson, soit par des cornues, soit par des fours. La plus simple consiste à n'avoir qu'un seul foyer, soit à charbon, soit à gaz naturel, dont la chaleur est dirigée sur la masse de charbons dans une seule direction.

M. Lawrence a inventé une modification du four à réverbère de Siemens-Martin, qui donne des résultats supérieurs. Des charbons bitumeux, riches en produits gazeux, sont d'abord convertis en gaz pauvre. Celui-ci est dirigé sur le four lui-même par des carneaux en briques, d'abord par une extrémité et ensuite par l'autre. Là, mélangé avec de l'air, il brûle en dégageant une chaleur intense. Pendant deux ou trois jours de pleine combustion, l'intérieur du four est incandescent et brille d'un éclat insoutenable. Cependant, la température est sous le contrôle le plus absolu.

A la sortie du four, les charbons sont placés sur des tables en acier parfaitement planées, sur lesquelles ils sont roulés en tous sens, afin de trier ceux qui sont droits et ceux qui, pendant la cuisson, se sont déformés. Les premiers sont souvent recouverts d'une couche métallique avant d'être emballés pour l'expédition.

Cette métallisation augmente la conductibilité et prolonge la durée des charbons ; cependant une grande quantité sont employés tels qu'ils sortent du four.

Pour terminer, nous donnerons quelques renseignements statistiques.

Peu d'industries offrent un meilleur exemple de la tendance moderne à concentrer toute la production en un faible nombre d'usines. Pendant les quinze dernières années, près de soixante-quinze usines ont été fondées, tant en Europe qu'en Amérique, pour la fabrication des 200 millions de charbons qui sont consommés tous les ans. Leur production combinée s'élevait à 500 ou 600 millions par an ; jamais une bonne usine n'a produit moins de 300 millions par an. Il est naturel que dans ces conditions, plus de la moitié de ces usines aient été obligées de fermer leurs portes. Les autres ont fusionné entre elles. A présent, vingt-cinq usines sont en activité ; leur production globale s'élève de 350 à 400 millions par an ; mais ce travail est très inégalement réparti ; la moitié d'entre elles ne fournissent à peine que la centième partie de la consommation annuelle ; sur le restant, 6 usines fournissent à elles seules près de 90 p. 100 des demandes du marché. G. P.

Jonctions de câbles, par K. Feussner(1).

Le procédé indiqué par l'auteur, a pour but de réaliser une bonne soudure entre deux extrémités de câbles ou entre un câble et une borne.

Jusqu'à présent, on réunissait deux à deux, tous les fils des câbles, ce qui demandait des ouvriers habiles, et exigeait un temps assez long. De plus, la soudure est quelquefois appliquée superficiellement et ne tient pas ; dans d'autres cas encore, l'ouvrier décape à l'acide, et comme il en reste toujours une certaine quantité dans les interstices du câble, celui-ci se détériore plus ou moins.

En raison de ces difficultés, beaucoup de constructeurs ont abandonné la soudure, et se

(1) *Elekt. Zeitschr.*

contentent de serrer les câbles dans des manchons d'accouplement. Une jonction de ce genre présente naturellement moins de sécurité et offre souvent une résistance assez grande.

Le point essentiel du nouveau procédé consiste en ce que le bout du câble est introduit dans une douille de cuivre très mince, que l'on comprime ensuite de façon à obtenir un cylindre solide pouvant être travaillé comme une pièce massive. La section des fils du câble peut alors être très facilement soudée.

Le câble est fortement ligotté avec du fil fin, sur une longueur d'environ 2 centimètres. Puis on enfile sur cette partie le tube de cuivre mince, on déroule le fil de ligature au fur et à

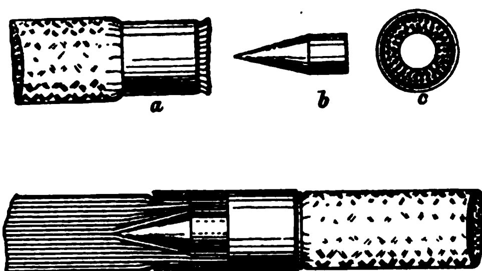


Fig. 1. — Jonction de câble, de K. Feussner.

mesure qu'on fait avancer le tube (fig. 1 *a*). Si l'on veut conserver à la section du câble la forme circulaire, on enfonce au centre un coin conique qui comprime fortement les fils. Puis on trempe le tout dans de la résine, pour boucher tous les interstices, et l'on chauffe pour carboniser la résine. Les deux câbles sont réunis bout à bout à l'aide d'un manchon que l'on passe à la fois sur les deux extrémités. Par une ouverture de ce manchon, on peut alors couler la soudure.

Dans le cas des bornes, l'extrémité du câble, munie de sa douille, est aplatie et insérée dans une fente pratiquée dans le corps de la borne. La soudure se fait comme ci-dessus.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Société Internationale des Électriciens.

Séance du mercredi 6 février 1895.

M. Farman expose le procédé de désinfection *Hermite*.

Le procédé, qui a déjà été appliqué en grand à la stérilisation des eaux d'égout et à l'assainissement des villes, est basé sur la production de l'hypochlorite de soude par décomposition électrolytique de l'eau de mer.

La décomposition de l'eau de mer ne peut s'expliquer dans la théorie de Grotthus ; il est nécessaire de faire appel à celle de M. Ostwald, d'après laquelle les ions existent à l'état libre dans le liquide. Cette théorie a d'ailleurs été vérifiée par plusieurs expériences.

L'eau de mer contient par litre :

SO^4Ca. . . .	$1^g,59$
SO^4Mg . . .	2,32
$MgCl^2$. . . .	2,86
NaCl	27

Les forces électromotrices de décomposition correspondantes sont :

SO^4Ca	SO^4Mg	$MgCl^2$	NaCl	H^2O.
6,9v.	6,5v.	3,3v.	1,38v.	1,48v.

On décomposera simultanément l'eau et le chlorure de magnésium, en employant une force électromotrice au moins égale à la somme de $3,3+1,48$, c'est-à-dire 4,78 ; si cette force électromotrice est inférieure à 6,5, les sulfates ne seront pas décomposés. Pour tenir compte de la résistance du liquide, on emploie une force électromotrice de 6 volts ; pour un courant de 1.000 ampères, ce voltage correspondrait à une résistance de 0,0012 ohms. Cette résistance est très notablement inférieure à celle d'une dissolution de chlorure de magnésium de même concentration ; la diminution de résistance est due à la présence du chlorure de sodium.

Pour produire 1 gramme de chlore, il fau-

drait théoriquement, sous une tension de 6 v., 0,75 ampère-heure ; en pratique, il faut 6 watts-heures.

Quant au pouvoir stérilisant, on en jugera par les indications suivantes. Pour stériliser complètement une selle normale de 150 grammes, il faut 5 litres d'eau électrolysée, contenant 5 grammes de chlore; on la désodorise complètement avec 1 gramme. A volume égal, le pouvoir désinfectant est très notablement supérieur à celui du bichlorure de mercure au $\frac{1}{1000}$.

Quel est le prix de revient du kilogramme de chlore? Il nécessite 6.000 watts-heures, ce qui, en supposant le rendement de la dynamo égal à 80 p. 100, suppose une puissance de 0,5 cheval, pendant 24 heures :

$$\frac{6 \times 1.000}{736 \times 24 \times 0,8} = 0,5 \text{ approximativement}$$

Le prix du cheval étant de 1 franc par 24 heures, on a une dépense de 50 centimes.

La désodorisation complète des matières fécales coûterait par habitant et par an 0 f. 18, en tenant compte de l'amortissement du matériel, mais non du traitement du personnel.

Pour la désinfection totale, le prix serait environ 50 centimes. Ce prix s'élèverait à 2 fr. 50 si l'on n'a pas d'eau de mer à sa disposition, et si l'on est obligé de préparer les dissolutions de $MgCl^2 + NaCl$.

L'eau de mer électrolysée a été aussi appliquée au blanchiement, elle présente le grand avantage de ne pas renfermer un excès de base, qui cause la détérioration des tissus.

M. Picou expose une étude analytique sur les *transmissions par moteurs synchrones*.

M. Mordey a signalé que lorsqu'on fait varier l'excitation d'un moteur synchrone, l'intensité du courant varie et passe par un minimum ; pour une puissance transmise déterminée, réalisée avec des excitations différentes, la courbe du courant principal prend une forme en U.

M. S. Thompson a signalé que, lorsque le courant est minimum, il est en phase avec la force électromotrice de la génératrice ; avant ce minimum, le courant est en avance; après, il est en retard.

M. Kapp a publié également quelques courbes en U, corrigées de la réaction d'induit.

M. Blondel a signalé aussi les grandes lignes de la théorie de la transmission.

La méthode de M. Picou est basée essentiellement sur la représentation de M. Blakesley (*Courants alternatifs d'électricité*, chap. x). Le point de départ est le diagramme de la figure 20 (p. 108 de l'édition française). L'auteur remarque que les différents cercles, lieu des points qu'il est intéressant de considérer, ont une partie utile fort restreinte et qu'on peut leur substituer des droites qui leur sont tangentes. La discussion devient alors très facile et on retrouve les résultats indiqués par les savants déjà cités.

M. Picou trouve que les minima des courbes qui représentent, pour chaque puissance déterminée, l'intensité du courant en fonction de l'excitation, sont tous situés sur une droite qui fait un angle de 45° avec les axes. Il explique aussi le fait annoncé par M. Mordey, et qui semble en contradiction avec le précédent que la même excitation donne le minimum de courant pour toutes les puissances. Les minima considérés plus haut auraient alors tous même abscisse ; on peut voir, en effet, en tenant compte de la réaction d'induit, que ces abscisses varient peu en réalité. C. R.

Les courants alternatifs de grande fréquence et le pont de Wheatstone, par H. Abraham [1].

Sous ce titre, l'auteur expose le principe de la méthode dont il s'est servi dans ses mesures récentes des coefficients d'induction.

Si des courants sinusoïdaux ayant *n* périodes par seconde circulent dans les branches $\begin{pmatrix} 1. & 2 \\ 3. & 4 \end{pmatrix}$ d'un pont de Wheastone à téléphone, le téléphone est parcouru par un courant dont l'intensité maximum est donnée

[1] *Séance de la Société française de Physique*, 1894, p. 213-219.

par une fraction dont le numérateur s'annule quand on a à la fois

$$L_4R_1 = L_2R_1 + L_3R_2, \qquad (1)$$
$$R_2R_3 - R_1R_4 = 4\,\pi^2 n^2 L_2L_3, \qquad (2)$$

et passe par un minimum quand cette dernière égalité seule est satisfaite, le coefficient de self-induction L_1 de la première branche du pont étant supposée nulle dans tous les cas.

« Ceci nous montre, en premier lieu, que l'une des conditions d'équilibre (1) peut être réalisée *par un réglage préalable* qui demeure inaltéré lorsqu'on modifie la résistance variable R_4.

« En second lieu, nous voyons qu'il est inutile de satisfaire exactement à cette équation (1). Que le réglage soit parfait ou seulement approché, c'est en effet la même équation qui correspond soit à l'extinction, soit au minimum de son dans le téléphone.

« Cette équation (2) peut se mettre sous la forme

$$r = \frac{4\,\pi^2\,L_2L_3}{R_1}\,n^2, \qquad (3)$$

en désignant par r la résistance qu'il faudrait ajouter à R_4 pour rétablir l'équilibre en courants continus.

« Si donc, le *réglage préalable* est réalisé, ou à peu près, l'équilibre en courants alternatifs diffère de l'équilibre en courants continus *par un déréglage r proportionnel au carré de la fréquence*. Si d'ailleurs les éléments du pont sont connus, *la mesure du déréglage permet de calculer la fréquence des alternances.* »

L'auteur a vérifié expérimentalement ces deux conséquences du calcul. Les courants alternatifs étaient produits en faisant défiler rapidement devant un aimant d'un téléphone Ader muni de ses bobines une série de petits barreaux de fer fixés par leurs extrémités sur les circonférences de deux roues parallèles calées sur le même axe. Le nombre des alternances est donné par le produit du nombre des barreaux par le nombre des tours des roues par seconde. Ce dernier nombre était mesuré par un procédé stroboscopique. Les nombres des alternances ainsi trouvés ne différaient que de quelques millièmes de ceux que donnait la formule (3).

Remarquons que cette formule donne pour la moyenne géométrique des coefficients L_2 et L_3,

$$\sqrt{L_2L_3} = \frac{1}{2\pi n}\sqrt{rR};$$

la mesure du déréglage r fait donc connaître cette moyenne géométrique en valeur absolue, ou du moins par comparaison avec une résistance et un temps.

« L'observation du son minimum dans le téléphone du pont est un moyen commode de comparer des coefficients d'induction propre très faibles.

« Nous partirons de la disposition classique de Maxwell. Plaçons les bobines à comparer dans les branches 1 et 2 du pont et laissons sans induction les branches opposées. Le téléphone sera muet, aussi bien pour les courants alternatifs que pour les courants continus si l'on a réalisé *exactement* le double réglage.

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}.$$

« Mais si l'on cherche seulement un ***minimum*** de son nettement accusé, il suffit d'être ***au voisinage*** de ce réglage.

« La condition générale de minimum

$$R_1\,[R_1R_4 - R_2R_3 - 4\pi^2n^2\,(L_1L_4 - L_2L_3)]$$
$$+\,4\pi^2n^2L_1\,(L_1R_4 + L_4R_1 - L_2R_3 - L_3R_2) = 0,$$

devient, dans le cas actuel ($L_3 = L_4 = 0$),

$$R_1\,(R_1R_4 - R_2R_3) + 4\pi^2n^2\,(L_1R_4 - L_2R_3) = 0.$$

« Désignons encore par r le déréglage observé, c'est-à-dire ce qu'il faudrait *ajouter* algébriquement à R_4 pour retrouver l'équilibre en courants continus. Soit, de même, ε ce qu'il faudrait *retrancher* algébriquement de R_4 pour que cette résistance fût à R_3 comme L_2 est à L_1. Avec ces notations, l'équation précédente peut s'écrire

$$\varepsilon = \frac{R_1^{\,2}}{4\pi^2n^2L_1^{\,2}}\,r.$$

« Ce qui fait le succès de la méthode, c'est que, pour des alternances assez rapides, cette valeur de ε est presque nulle. Cela veut dire

que, pour des courants alternatifs de grande fréquence :

Le rapport $L_2 : L_1$ *que l'on cherche est presque exactement égal au rapport* $R_1 : R_2$ *qui donne le son minimum dans le téléphone, même si le déréglage est considérable.*

« Lorsqu'on a une connaissance approchée de la valeur de L_1, l'expression trouvée pour ε fournit la correction complémentaire. Il est ensuite intéressant de contrôler la mesure, en la répétant avec des résistances R_1 et R_2 qui soient, maintenant, dans le rapport de R_2 à $R_1 - \varepsilon$. »

Après avoir montré par un exemple que, dans certains cas, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la correction ε, bien que le déréglage soit considérable, M. Abraham termine sa note par les remarques suivantes sur la capacité des bobines.

« A mesure que la fréquence s'élève, on commence à observer une influence très nette de la *capacité* des bobines.

« Les bobines semblent se comporter comme si elles possédaient une capacité en dérivation. Pour une fréquence donnée elles agissent donc comme un fil sans capacité dont la résistance serait

$$\rho = \frac{R}{(1 - a^2CL)^2 + a^2C^2R^2} \qquad (a = 2n\pi),$$

et le coefficient d'induction propre

$$\lambda = \frac{L - C(R^2 + a^2L^2)}{(1 - a^2CL)^2 + a^2C^2R^2}.$$

« La manière dont varient les constantes apparentes de la bobine quand la fréquence augmente permet de se faire une idée de ces capacités parasites.

« Mais ces variations sont toujours de l'ordre de a^2CL ou de $a^2C^2R^2$. On peut donc, dans chaque expérience, s'affranchir complètement de cette cause d'erreur *en opérant sur des bobines dont le coefficient d'induction, la résistance et les dimensions géométriques sont d'autant plus faibles que la fréquence est plus élevée.* »

J.-B.

Sur la production des rayons cathodiques, par M. Joseph Kowalski [1].

La genèse des rayons cathodiques est encore très obscure malgré les remarquables expériences de Crookes et de Lenard. Généralement on admet qu'ils prennent naissance à la cathode, mais récemment M. Goldstein [2] a remarqué que les rayons se produisant à la cathode forment trois rayonnements distincts et que les rayons dits cathodiques naissent dans l'espace obscur de Crookes. Les expériences de l'auteur viennent éclaircir cette question.

L'une des expériences consistait à faire passer les décharges d'une machine électrique à travers un gaz suffisamment raréfié contenu dans deux tubes AC et BF (fig. 1) reliés par

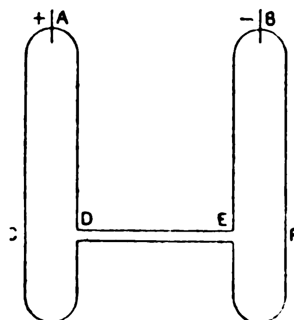


Fig. 1. — Production des rayons cathodiques dans des tubes à électrodes.

un tube capillaire DE. L'appareil se remplissait d'une lueur se propageant de l'anode A à la cathode B et ayant un maximum d'intensité dans le voisinage des électrodes et à l'intérieur du tube capillaire, c'est-à-dire aux endroits où la densité des lignes du courant est considérable. Outre cette lueur, que l'auteur nomme *lueur primaire*, on remarquait un rayonnement partant de l'extrémité D du tube capillaire, se propageant en ligne droite dans la direction DC, produisant une vive phosphorescence en C et se déplaçant sous l'influence d'un aimant, c'est-à-dire jouissant des propriétés des rayons cathodiques. Quand

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 82, 14 janvier 1895.
(2) *Wied. Ann.*, t. LI, p. 622; 1894.

on renversait le sens des décharges ces rayons se propageaient de E en F.

Cette expérience montrait la possibilité de produire des rayons cathodiques en d'autres endroits que ceux qui sont voisins des électrodes. Elle suggéra à l'auteur l'idée d'essayer de produire des rayons cathodiques dans des tubes sans électrodes. Il y parvint en plaçant un tube AB (fig. 2), présentant une partie capillaire CD et rempli d'un gaz raréfié, parallèlement à un excitateur FG parcouru par des courants de Tesla. Il obtenait une lueur intense dans la partie capillaire et constatait la formation de faibles rayons cathodiques

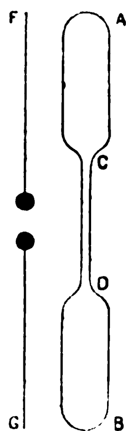


Fig. 2. — Production des rayons cathodiques dans des tubes sans électrodes.

partant de C et D et produisant une fluorescence en A et B. La direction de ces rayons était influencée par un aimant; s'il y avait attraction des rayons, dans la région AC, il y avait répulsion dans la région BD et réciproquement.

Suivant l'auteur, ces expériences démontrent que les rayons dits cathodiques jouissent des propriétés suivantes :

1° Leur production n'est pas liée à la décharge des électrodes métalliques à travers le gaz raréfié;

2° Ils se produisent partout où la lueur nommée primaire atteint une intensité assez considérable, autrement dit, partout où la densité des lignes du courant est assez considérable;

3° La direction de leur propagation est celle des lignes du courant dans la partie où les rayons se produisent, dans le sens du pôle négatif au pôle positif. J. B.

Sur la loi de transmission de l'énergie entre la source et le conducteur, dans le cas d'un courant permanent, par M. Vaschy [1].

M. Poynting a démontré, au moyen des équations de Maxwell, que le flux d'énergie en un point peut être représenté par un vecteur perpendiculaire à la force électromotrice et à la force magnétique en ce point, et dont la valeur par unité de surface et par unité de temps est égale au quotient par 4π de l'aire du parallélogramme ayant pour côtés la force électromotrice par unité de longueur et la force magnétique [2]. M. Vaschy établit ce théorème, sans s'appuyer sur les relations de Maxwell, dans le cas particulier d'un conducteur traversé par un courant permanent.

Soient w_x, w_y, w_z les composantes du flux d'énergie par unité de surface et l, m, n les cosinus directeurs de la normale à l'élément dS d'une surface S qui limite un volume U, la direction positive de la normale étant comptée vers l'intérieur de U ; on a pour le flux d'énergie pénétrant dans U pendant l'unité de temps

$$\int_S (lw_x + mw_y + nw_z)\, dS = -\int_U \left(\frac{dw_x}{dx} + \frac{dw_y}{dy} + \frac{dw_z}{dz}\right) dw,$$

le second membre de cette égalité s'obtenant par une transformation d'intégrale bien connue. Mais d'après la loi de Joule, la quantité de chaleur développée par unité de temps dans l'élément de volume dw est $\frac{h^2}{\rho}\, dw$, h désignant l'intensité du champ électrique dans cet élément et ρ sa résistance spécifique; on a donc la relation,

$$\frac{dw_x}{dx} + \frac{dw_y}{dy} + \frac{dw_z}{dz} = -\frac{h^2}{\rho} = -\frac{X^2 + Y^2 + Z^2}{\rho}, \qquad (1)$$

X, Y, Z étant les composantes du champ.

[1] *Comptes Rendus*, t. CXX, p. 80, 14 janvier 1895.

[2] Voir la démonstration de ce théorème dans *La Lum. Elec.*, t. L, p. 505.

M. Vaschy obtient une seconde relation en exprimant que le vecteur w doit être perpendiculaire à la direction de h, car (entre autres raisons), dit-il, le flux d'énergie ne pénètre jamais à l'intérieur d'un corps dont la surface est équipotentielle, tel qu'un conducteur *isolé* situé dans le champ, tandis qu'il pénètre dans le circuit conducteur d'un courant, dont la surface n'a pas un potentiel constant ; cette relation est

$$X w_x + Y w_y + Z w_z = 0. \qquad (2)$$

Il s'agit maintenant d'introduire la force magnétique qui entre dans l'énoncé du théorème de Poynting. Pour y arriver, M. Vaschy fait remarquer que le flux d'énergie w ne doit évidemment dépendre que de l'état du champ au point considéré, mais que cet état n'est pas complètement défini par le vecteur h puisqu'il y a une transmission d'énergie qui s'effectue entre la source (pile, etc.) et le lieu de consommation (conducteur) à travers les corps interposés. Il faut donc introduire une donnée nouvelle, qui caractérise en quelque sorte le *champ du courant* en tout point de l'espace, c'est-à-dire qui fasse connaître *dans toute l'étendue* du champ la réaction due à l'appel incessant d'énergie réparatrice que provoque la dissipation calorifique de l'énergie électrique dans le circuit conducteur. Or la densité $\frac{h}{\rho}$ d'un courant permanent satisfaisant à la relation

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{X}{\rho}\right) + \frac{d}{dy}\left(\frac{Y}{\rho}\right) + \frac{d}{dz}\left(\frac{Z}{\rho}\right) = 0,$$

nous pouvons caractériser le champ du courant par un nouveau vecteur h' (X', Y', Z'), tel que

$$\left.\begin{aligned} \frac{dY'}{dz} - \frac{dZ'}{dy} &= 4\pi\frac{X}{\rho}, \\ \frac{dZ'}{dx} - \frac{dX'}{dz} &= 4\pi\frac{Y}{\rho}, \\ \frac{dX'}{dy} - \frac{dY'}{dx} &= 4\pi\frac{Z}{\rho}. \end{aligned}\right\} (3)$$

Ces trois dernières relations déterminent en effet la distribution du courant quand le vecteur h' est donné. Il est vrai que si, inversement, la distribution du courant est donnée, ce vecteur n'est pas complètement déterminé, car ces trois relations se réduisent à deux ; il faudrait donc une nouvelle relation pour déterminer complètement h', mais elle n'est pas nécessaire pour la question examinée ici.

De l'équation (2) on déduit,

$$\left.\begin{aligned} 4\pi w_x &= Y_1 Z - X_1 Y, \\ 4\pi w_y &= Z_1 X - X_1 Z, \\ 4\pi w_z &= X_1 Y - Y_1 X, \end{aligned}\right\} (4)$$

X_1, Y_1, Z_1 désignant trois fonctions quelconques de x, y, z. En portant ces expressions dans (1) et en tenant compte de ce que le vecteur h (X, Y, Z) dérive d'un potentiel, on trouve

$$X\left(\frac{dY_1}{dz} - \frac{dZ_1}{dy} - 4\pi\frac{X}{\rho}\right) + Y\left(\frac{dZ_1}{dx} - \frac{dX_1}{dz} - 4\pi\frac{Y}{\rho}\right) + Z\left(\frac{dX_1}{dy} - \frac{dY_1}{dx} - 4\pi\frac{Z}{\rho}\right) = 0.$$

Mais si l'on veut que le vecteur w et par suite X_1, Y_1, Z_1 ne dépendent que des vecteurs h et h' et qu'en outre l'identité précédente soit indépendante de l'orientation de ces vecteurs, les coefficients de X, Y, Z doivent être nuls séparément, ce qui conduit à identifier X_1, Y_1, Z_1 avec X', Y', Z'. Les relations (4) deviennent alors

$$\begin{aligned} 4\pi w_x &= Y'Z - Z'Y, \\ 4\pi w_y &= Z'X - X'Z, \\ 4\pi w_z &= X'Y - Y'X. \end{aligned}$$

Ces relations expriment le théorème de Poynting, car on voit que le vecteur h', défini par les relations (3), n'est autre que l'intensité du champ magnétique du courant.

La façon dont ce vecteur a été introduit met en évidence l'*origine purement électrique du champ magnétique du courant*. Elle montre en outre que les relations (3) sont indépendantes de la nature des corps situés dans le champ et on voit dès lors pourquoi le coefficient de la formule fondamentale de Laplace en électromagnétisme [d'où l'on peut en déduire ces relations (3)] est indépendant de la nature du circuit conducteur (cuivre, fer, liquide, etc.) et des corps environnants (air, bois, eau, etc.).

J. B.

Un nouvel électromètre idiostatique très sensible par A. Righi ([1]).

La figure 1 représente schématiquement les parties principales de ce nouvel électromètre, dessinées, pour plus de clarté, à une distance exagérée les unes des autres. AB est un disque d'aluminium horizontal et très léger, percé d'un trou central de 1,1 cm. de diamètre et de

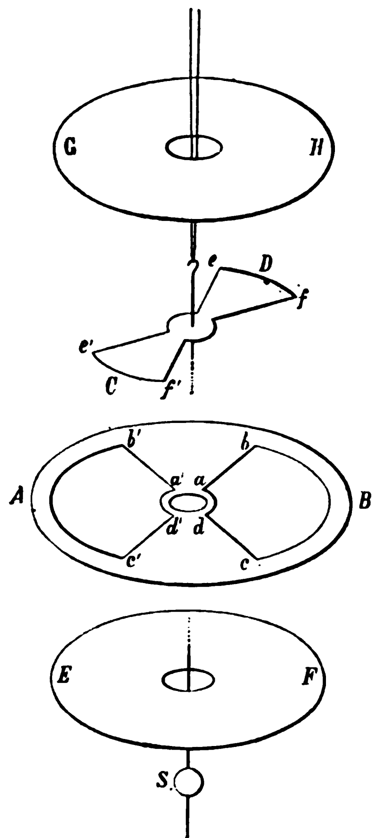


Fig. 1. — Électromètre idiostatique A. Righi. Détail des organes principaux.

deux fenêtres opposées *abcd*, *a'b'c'd'* dont les côtés rectilignes forment entre eux des angles de 60° et dont les côtés curvilignes ont respectivement 0,85 cm. et 3,5 cm. pour rayons de courbure. Au-dessus se trouve une aiguille d'aluminium CD formée de deux secteurs de 60° d'ouverture ; le rayon du cercle central de l'aiguille est 0,6 cm. ; celui des secteurs, un peu plus grand que le rayon des arcs *bc* et *b'c'* des fenêtres, est 3,75 cm. L'aiguille est suspendue, par un bifilaire, à la plus petite distance possible du disque et, dans sa position de repos, l'un de ses côtés rectilignes *e'f* ou *ef'* est dirigé suivant la bissectrice de l'angle formé par *bc'* avec *b'c*.

A la partie inférieure de l'aiguille est fixé un fil de platine vertical, long de 8,8 cm., qui passe à travers un trou de 1,15 cm. de diamètre percé au centre d'un disque métallique horizontal EF, de 9,4 cm. de diamètre, placé à une très petite distance au-dessous de AB. Ce fil de platine, légèrement aplati à son extrémité inférieure, plonge dans de l'acide sulfurique concentré. Cet acide dessèche l'air contenu dans l'appareil, permet d'établir une communication entre l'aiguille et les secteurs fixes *bb'*, *cc'* et *d*, enfin sert à amortir les oscillations de l'aiguille. Les déviations sont observées par la réflexion d'un rayon lumineux sur le miroir S fixé au fil de platine. Le poids du système mobile entier, c'est-à-dire de l'aiguille du fil de platine et du miroir, n'est que de 1,2 gr.

Au-dessus de l'aiguille mobile se trouve un disque métallique horizontal GH, identique à EF. Mais tandis que ce dernier est fixe, l'autre peut être placé à diverses hauteurs, de sorte que sa distance à l'aiguille peut varier depuis une très petite valeur jusqu'à 2 cm. environ.

Ces deux disques communiquent en général entre eux et avec la cage métallique de l'instrument. Ils forment une armature d'un condensateur dont les secteurs fixes du disque AB et l'aiguille CD constituent la seconde armature. S'il existe une différence de potentiel entre ces armatures, l'aiguille dévie et la déviation est sensiblement proportionnelle au carré de cette différence de potentiel. La sensibilité est d'autant plus grande que la distance entre les disques et les secteurs est plus petite et que les fils du bifilaire sont plus voisins.

Le mode de connexions qui vient d'être indiqué et que l'auteur désigne par (*a*) n'est pas le seul qui puisse être employé. Un second mode (*b*), qui donne à l'instrument une moins

([1]) *Il Nuovo Cimento* (3), t. XXXIV, p. 353, novembre 1894.

grande sensibilité que le précédent, consiste à mettre le disque inférieur EF en communication, non plus avec le disque supérieur, mais avec les secteurs fixes et avec l'aiguille.

Dans ce cas, on peut considérer comme nulle la densité électrique sur les faces inférieures des secteurs et de l'aiguille et la déviation est alors produite seulement par la charge des faces supérieures. Pour des potentiels égaux, cette charge est d'autant plus petite que le disque supérieur est plus élevé, et, par suite, la sensibilité diminue à mesure qu'on soulève le disque supérieur. Un commutateur permet de passer instantanément d'un mode de connexions à l'autre et, par conséquent, de mesurer avec le même appareil des différences de potentiel très différentes.

Pour chacun des deux modes on détermine au moyen d'une différence de potentiel connue, la constante K de la formule $V = K\sqrt{\alpha}$ qui lie la différence de potentiel V à la déviation α de l'aiguille. Tant que les déviations angulaires sont petites, α peut être exprimé en millimètres de l'échelle.

La figure 2 montre l'appareil complet, une partie du manchon métallique qui l'enveloppe étant enlevée et représentée à part pour laisser voir l'intérieur. Ce manchon porte cinq fenêtres *a*, *b*, *c*, fermées par des glaces; une sixième fenêtre *f* fermée par une glace plane à faces bien parallèles permet d'observer les déviations du miroir porté par le système mobile. La base A en cuivre est supportée par trois pieds d'ébonite terminés par des vis calantes et porte un serre-fils B. Intérieurement se trouvent trois colonnettes en verre recouvertes de vernis qui supportent le disque inférieur (désigné par EF dans la figure 1); à ce disque est soudée une tige de cuivre terminée par un serre-fils C. Trois autres colonnettes supportent un anneau de cuivre, communiquant avec le serre-fils D et formé de deux pièces posées l'une sur l'autre et serrées par des vis. Entre ces pièces est fixée une lame mince d'aluminium découpée de manière à constituer les secteurs fixes désignés par AB dans la figure 1. Pour permettre de régler facilement la distance du disque inférieur aux secteurs et la rendre aussi petite que l'on veut, les trois colonnettes de verre qui portent l'anneau ne sont pas fixées directement à la base A de l'instrument mais s'y appuient par l'intermédiaire de trois ressorts tendant à soulever l'anneau; trois écrous vissés sur les

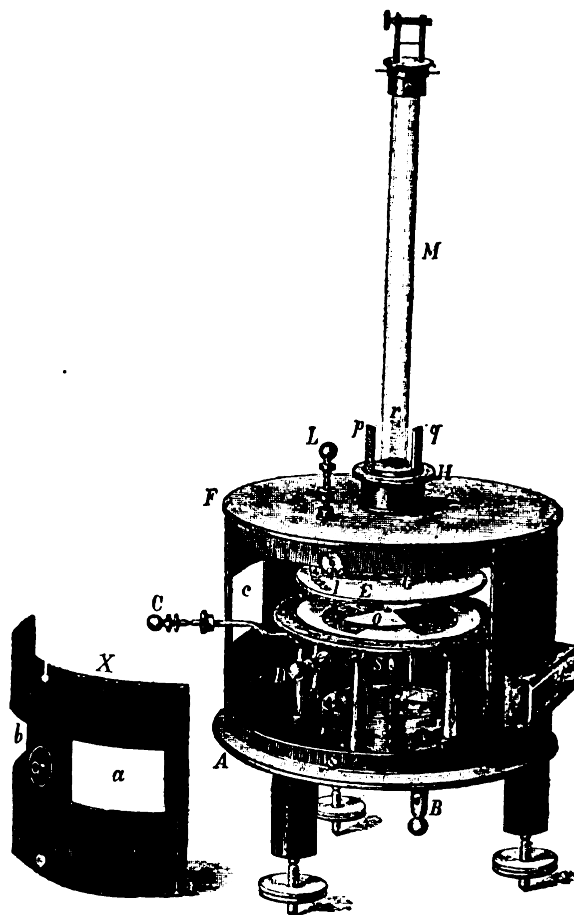


Fig. 2. — Électromètre idiostatique A. Righi. Vue d'ensemble.

prolongements inférieurs des colonnettes servent à abaisser l'anneau.

Le disque supérieur E (désigné par GH dans la figure 1) est représenté soulevé dans la figure 2 afin de laisser voir les secteurs. Il est soutenu par un tube de verre verni G, à l'intérieur duquel passe librement le fil de suspension. Ce tube n'est pas fixé au couvercle de l'instrument; il est terminé par un large tube de cuivre muni d'un filet de vis et fendu longitudinalement de manière à ne présenter à sa

partie supérieure que trois tronçons filetés *p*, *q*, *r*. Ces tronçons s'engagent dans un écrou H au moyen duquel on peut faire monter ou descendre le disque. Celui-ci communique, par un fil métallique flexible et une tige isolée par un tube de verre verni, avec le serre-fils L.

Le tube de verre M, qui protège le fil de suspension, a environ 20 cm. de longueur; il porte une tête permettant de modifier la hauteur de l'aiguille, l'écartement et l'orientation des fils.

Pour que cet électromètre ait une très grande sensibilité, il faut que les secteurs soient bien plats et très minces et que les deux disques soient bien parallèles et à une très petite distance des secteurs. Pour satisfaire le mieux possible à ces conditions on opère de la façon suivante :

Les secteurs et l'aiguille sont taillés dans une feuille d'aluminium extrêmement mince et sont aplanis par un serrage énergique entre deux lames de fer bien planes. Pour monter l'instrument, on commence par vérifier la position du disque inférieur en plaçant sur le tour la base de l'instrument et en ramollissant le mastic qui sert à fixer le disque sur les colonnettes. Ensuite, on remet l'appareil dans sa position normale et, l'aiguille et les secteurs n'étant pas encore en place, on abaisse le disque supérieur jusqu'au contact avec le disque inférieur, après avoir eu soin de ramollir avec une petite flamme, le mastic qui fixe le disque supérieur au tube G. On relève ensuite ce disque, qui est alors parallèle au disque inférieur, et l'on introduit les secteurs fixes dans leur monture. A l'aide des vis des colonnettes portant cette monture, on amène le plan des secteurs à être parallèle aux plans des disques et très peu distant de ceux-ci. Pour faciliter cette dernière opération, on relie les disques et les secteurs à un circuit contenant une pile et un galvanomètre; le galvanomètre dévie toutes les fois qu'il y a contact des disques et des secteurs.

Il ne reste plus qu'à placer l'aiguille. Avant de le faire, on s'assure que, pendant ses oscillations, son plan reste rigoureusement horizontal. Pour cela, on la fait osciller au-dessus d'un plan de verre bien horizontal et percé d'un trou pour laisser passer le fil de platine et on s'assure qu'elle peut osciller librement à une petite distance de ce plan. On place alors l'aiguille après avoir rendu les disques horizontaux au moyen des vis calantes de l'appareil. On prend soin que ce fil de platine se trouve suivant les axes des trous des deux disques et que l'aiguille soit elle-même à une très petite distance de ces disques.

Lorsqu'on veut se servir de l'instrument pour la mesure de différences de potentiel qui ne sont pas trop petites et que, par suite, on adopte la disposition (*b*), il ne reste plus qu'à déterminer, comme il a été dit, la constante K de la formule $V = K\sqrt{\alpha}$; la différence de potentiel due à ce que les disques et les secteurs ne sont pas de même nature est, en effet, négligeable dans ce cas. Mais si, au contraire, les différences de potentiel à mesurer sont très petites, moindres que 1 volt, et qu'on adopte alors la disposition (*a*), il faut tenir compte de cette différence de potentiel qui peut n'être pas nulle, à moins que les disques soient en aluminium comme les secteurs.

Dans ce dernier cas, la différence de potentiel V est donnée par la formule

$$V = K\sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}},$$

où α_1 et α_2 sont les deux déviations produites par la force électromotrice V mise en communication avec l'instrument, d'abord dans un sens, puis dans un sens opposé, et K une constante déterminée en opérant de la même manière avec une force électromotrice connue.

Quant à la sensibilité de l'appareil, elle est très grande, comme l'indiquent les nombres suivants relatifs à un instrument construit dans le laboratoire du professeur Righi.

Avec la disposition (*a*) et une suspension bifilaire, une différence de potentiel de 1 volt donne une déviation d'environ 51 millimètres d'une échelle située à 5 mètres de l'appareil. En substituant un fil de quartz au bifilaire, la déviation était de 400 millimètres ; mais la durée d'oscillation devenait alors très grande

et il fallait attendre plusieurs minutes avant de pouvoir faire une lecture.

Avec la disposition (*b*), la sensibilité est moins grande ; cette disposition peut, néanmoins, servir quand on a à mesurer des différences de potentiel supérieures à 4,5 volts.

J. B.

Sur les propriétés électriques du soufre pur, par R. Threlfall, Drapier Brearley et J.-B. Allen (¹).

Les propriétés électriques des métaux purs ont été étudiées à plusieurs reprises par divers savants. M. Threlfall s'est proposé de faire une étude analogue des substances diélectriques pures et nous avons déjà indiqué les résultats qu'il a obtenus avec l'azote (²).

Le soufre a été l'objet de nombreuses recherches commencées dès 1886. Après plusieurs essais il a été reconnu que la matière première qui convient le mieux pour l'obtention du soufre pur est le soufre commercial extrait des marcs de soude par le procédé Chance. Le produit commercial est fondu, puis filtré sur du verre filé et sur une toile de platine ; il est ensuite distillé deux fois pour le débarrasser de toute trace d'humidité, puis chauffé dans le vide jusqu'au point d'ébullition pour chasser les gaz dissous.

La pureté du produit obtenu est vérifiée par les essais suivants : il n'a aucune odeur, il ne laisse aucun résidu par évaporation sur une lame de platine ; porté à une haute température, puis refroidi brusquement, il conserve une couleur jaune ; quand on le fait cristalliser, les cristaux sont complètement solubles dans le sulfure de carbone ; transformé en acide sulfurique il ne donne aucune trace d'arsenic dans l'appareil de Marsh et ne donne aucun dépôt de sélénium avec l'anhydride sulfureux.

Pour la mesure de la résistance électrique et de la capacité diélectrique, le soufre est coulé en lames minces entre deux plaques d'aluminium ; la fusion du soufre, que nécessite cette opération, doit être faite dans un vase d'or. La méthode de mesure employée est des plus sensibles ; le galvanomètre dont il est fait usage est d'une très grande sensibilité.

Les principaux résultats de ces mesures sont les suivants :

Le soufre cristallisé, nouvellement ou anciennement préparé (les auteurs croient devoir considérer le soufre cristallisé ancien comme une variété différente du soufre fraîchement cristallisé, car, bien qu'il ait le même point de fusion que ce dernier, il n'a pas les mêmes propriétés cristallographiques), a une résistance spécifique minimum de 10^{28} unités C.G.S.

Quand il est exposé à l'air, ce soufre se recouvre d'une couche d'humidité qui diminue sa résistance spécifique apparente, mais cette diminution est beaucoup moins grande que celle qu'on observe avec le verre dans les mêmes conditions. La charge résiduelle d'une feuille de soufre d'environ 1/4 de millimètre d'épaisseur soumise à une différence de potentiel de 300 volts est nulle, ou, en tout cas, moindre que les 4/10000 de la charge initiale. Comme le soufre cristallisé est nécessairement hétérogène, cette absence d'effet résiduel est remarquable et peut-être doit-on en chercher la cause dans l'absence complète de conductibilité.

Le soufre cristallisé possède une résistance à la rupture par l'étincelle suffisante pour supporter une force électromotrice de plus de 33.000 volts par centimètre, nombre bien supérieur à ceux qui correspondent à la rupture des autres diélectriques.

Si l'on porte le soufre à 75° C, la résistance spécifique, mesurée avec une lame de 1/4 de millimètre d'épaisseur et une différence de potentiel de 285 volts, s'abaisse à $6{,}8 \times 10^{25}$ C.G.S. Si l'on continue à élever la température, la conductibilité croît lentement jusqu'au point de fusion où elle éprouve un accroissement brusque et considérable. La capacité inductive spécifique croît aussi lentement quand la température s'élève.

En opérant avec une lame de soufre contenant environ 5 p. 100 de soufre insoluble et

---

(¹) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 32-48.

(²) Threlfall. *Phil. Mag.* t. XXXV, p. 1 (janv. 1893). — *La Lum. Élect.*, t. XLVII, p. 533.

obtenue en refroidissant brusquement du soufre pur porté à 170° C., on observe une conductibilité notable qui ne peut être superficielle, car elle ne varie pas sensiblement quand on projette sur la plaque un courant d'air saturé de vapeur d'eau. Cette conductibilité dépend de la quantité de soufre insoluble contenu dans la lame et varie de 10^{35} à 10^{26} C. G. S. quand cette quantité varie de 3 à 6 p. 100. Elle dépend également du voltage ; elle est plus grande pour les grands voltages (300 volts) que pour les faibles (8 volts), et plus grande au moment d'une fermeture ou d'un renversement du courant de charge que lorsque la charge est maintenue constante. La capacité inductive d'une telle lame est plus grande que celle d'une lame de soufre pur soluble. Sa charge résiduelle est également plus grande.

L'accroissement de la température d'un mélange de soufre insoluble et de soufre soluble a encore pour effet d'accroître la conductibilité spécifique ; cet accroissement dépend de la composition du mélange. La capacité inductive croît également en même temps que la température ; entre 20° et 70° C. son augmentation est d'environ de 2×10^{-6} par degré.

Les résultats relatifs à la conductibilité sont confirmés par d'autres expériences décrites dans une autre partie du Mémoire et faites sur des mélanges de soufre soluble et de soufre insoluble contenant de 5 à 20 p. 100 de ce dernier. Ces mélanges étaient cependant obtenus par des procédés différents de ceux qui étaient employés dans les premières expériences ; en outre, les lames d'aluminium étaient remplacées par des lames de platine.

D'autres expériences furent également faites pour la détermination des capacités inductives par la méthode des pesées. Pour éviter la pénétration des charges qui se produit lorsqu'on emploie une différence de potentiel constante ou lorsqu'on prend une bobine de Ruhmkorff munie d'un interrupteur à marteau ou à mercure, les auteurs opèrent avec le courant alternatif qui prend naissance dans le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff quand le circuit primaire de cette bobine est traversé par le courant d'un alternateur donnant une fréquence d'environ 60. Ils obtiennent ainsi pour la capacité inductive spécifique à 14°C :

Soufre monoclinique préparé depuis longtemps.	K = 3,162
Soufre avec 1,43 p. 100 de soufre insoluble.	K = 3,510
Soufre avec 3 p. 100 de soufre insoluble.	K = 3,75

La discussion des particularité observées dans les mesures de la conductibilité des mélanges de soufre soluble et de soufre insoluble, conduit les auteurs à penser que la conduction est de nature électrolytique et que l'on doit considérer ces mélanges comme de véritables composés.

Parmi les autres résultats contenus dans cet important Mémoire, citons les deux suivants :

Le soufre soluble et le soufre insoluble présentent une différence de potentiel au contact qui est de 1 à 2 volts, le soufre insoluble étant positif par rapport à l'autre variété. Cette différence de potentiel est mesurée par la méthode électrométrique avec une double aiguille de soufre placée au-dessus de demi-cercles métalliques ou mieux avec l'aiguille ordinaire de l'électromètre et des quadrants en soufre.

L'influence de la lumière sur la conductibilité du soufre est nulle, contrairement à ce qui a été annoncé par Monckman (*Roy. Soc. Proc.*, *1890*). J. B.

Sur la mesure des propriétés magnétiques du fer, par Thomas Gray (1).

Dans cette communication, sont donnés les résultats obtenus en continuant les recherches formant le sujet d'un Mémoire communiqué à la Société Royale en 1892 et publié dans les *Philosophical Transactions*, t. CLXXXIV. A. pp. 531-542 (2). Les résultats communiqués ici ont été en grande partie obtenus par la même méthode, c'est-à-dire au moyen des courbes donnant la relation entre le courant

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 48; 1894.

(2) *La Lum. Elect.*, t. XLVI, p. 337.

qui circule dans le circuit et le temps compté à partir de l'instant de l'application ou du renversement de la force électromotrice agissant sur le circuit. Toutefois, dans ces résultats, l'erreur personnelle a été éliminée par l'emploi d'un enregistreur automatique. Cet appareil, qui est une modification du « siphon-recorder » de Thomson, a donné toute satisfaction et a facilité le tracé des courbes en même temps qu'il en augmentait l'exactitude. Une description de l'appareil et des spécimens de courbes sont joints au Mémoire. Une méthode de mesures, fondée sur l'emploi d'un wattmètre, pour la détermination de l'énergie dissipée par les transformateurs avec des forces électromotrices de diverses fréquences s'y trouve également décrite. L'exactitude des mesures ainsi faites était contrôlée en comparant leurs résultats avec ceux que donnait la méthode du contact instantané de Joubert.

Le Mémoire contient les résultats de quelques expériences sur le grand électro-aimant employé dans les expériences antérieures et décrit dans le Mémoire indiqué ci-dessus, mais le plus grand nombre des résultats sont relatifs à des transformateurs à circuits fermés des types construits par « Westinghouse and the General Electric C° ». Les expériences ont été dirigées particulièrement sur les points suivants :

1° Comparaison de l'énergie totale requise pour produire différentes inductions magnétiques et de la dissipation d'énergie correspondante. Incidemment l'effet de l'introduction d'un intervalle d'air dans le circuit magnétique a été étudié avec soin. On a trouvé qu'avec un intervalle d'épaisseur modérée l'énergie dissipée dans les bobines, pour une induction donnée, se trouve réduite au tiers;

2° Loi de variation de l'hystérésis avec l'induction. — L'expérience montre que, quoique dans un cas spécial, l'énergie dissipée peut être approximativement représentée par une équation de la forme $E = AB^{\alpha}$, où A et α sont différents pour différentes espèces de fer, il semble aussi probable, des résultats obtenus, que α n'est pas absolument constant pour un même échantillon, mais croît en même temps que B ;

3° Effet de l'accroissement de fréquence des variations cycliques du magnétisme sur la dissipation de l'énergie. — Dans cette recherche on a employé un transformateur à noyau formé de minces feuilles de fer. L'épaisseur de ces feuilles était d'environ 0,16 millimètres et elles étaient séparées les unes des autres par des feuilles de papier. La capacité du transformateur à pleine charge était d'environ 6.000 watts. La fréquence variait de 3 à 8.000 par minute. Les résultats indiquent que, dans cet intervalle de fréquence, il n'y a aucune variation d'énergie par cycle quand les inductions sont égales.

Le Mémoire contient des données tirées de ces expériences sur les qualités magnétiques du fer employé dans divers transformateurs.

J. B.

Mesure de la résistance spécifique absolue du cuivre pur électrolytique, par J.-W Swan et J. Rhodin (1).

Des recherches faites à la fin de 1892 et au commencement de 1893 avaient montré que la résistance spécifique du cuivre électrolytique présente des différences considérables suivant les échantillons. Dans ces recherches les mesures de résistances étaient faites sur des fils de faible longueur par comparaison, au moyen d'un pont de Wheatstone, avec la résistance d'un fil de platinoïde étalonné. L'exactitude de la méthode était de 0,25 pour 100. Les nouvelles recherches furent entreprises dans le but d'atteindre une précision de 0,1 pour 100. Elles portent sur un des fils déjà étudié antérieurement et sur un fil du même cuivre soumis à un second raffinage électrolytique.

Une des principales difficultés est la détermination des dimensions des fils. La longueur est obtenue par une comparaison directe avec un mètre étalon. Le diamètre moyen est déduit de cette longueur et du volume du fil, volume déterminé au moyen du poids du fil et

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 64-81.

du poids spécifique du cuivre ; ce poids spécifique est fourni par la méthode de la balance hydrostatique.

Le fil est enroulé sur un cylindre d'ébonite suivant le mode d'enroulement adopté dans la construction des bobines de résistance pour éviter l'induction. Ce cylindre d'ébonite est plongé dans un bain d'huile de paraffine ; il est creux et ses parois sont percées de trous pour permettre au liquide de baigner aussi complètement que possible le fil de cuivre qui se trouve ainsi constamment à la température du

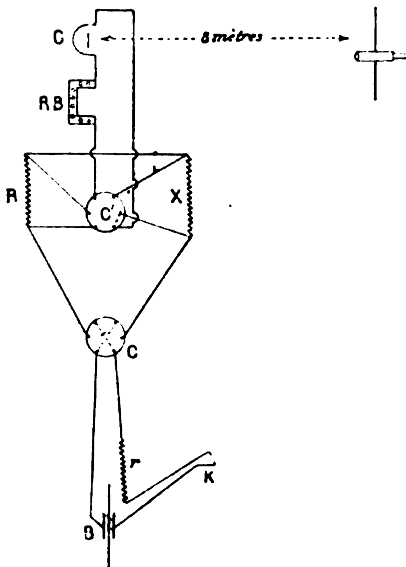


Fig. 1. — Mesure de la résistance spécifique du cuivre pur.

bain. Celle-ci est mesurée au moyen d'un thermomètre à mercure donnant le centième de degré centigrade et placé suivant l'axe du cylindre d'ébonite.

Pour protéger le bain d'huile contre le rayonnement des objets extérieurs, il est placé à l'intérieur d'une caisse remplie d'eau, placée elle-même dans une seconde caisse également remplie d'eau. Un couvercle à double paroi s'oppose au rayonnement de la surface du bain ; ce couvercle est percé des ouvertures nécessaires pour laisser passer la tige du thermomètre, les conducteurs de liaison et les tiges des agitateurs des trois bains.

Les mesures électriques sont faites au moyen de l'appareil que représente la figure 1. B est un accumulateur au plomb et peroxyde de plomb de capacité relativement grande (30 ampères-heures). Cette capacité est nécessaire, pour éviter d'avoir à tenir compte de la chute de potentiel de cette source de courant entre les observations. K est une clef à mercure permettant de mettre l'accumulateur en circuit avec une résistance r en fil de nickel (6 ohms environ), l'ohm étalon R et la résistance à mesurer X ; le courant ainsi obtenu n'atteint que 0,2 à 0,25 ampère dans le circuit principal et ne produit aucun échauffement sensible des différentes résistances. C est un commutateur permettant de renverser le sens du courant. C' est un autre commutateur permettant de mettre le circuit du galvanomètre G en dérivation successivement avec la résistance R et la résistance X et de produire rapidement la succession de ces opérations. RB est une boîte de résistance ayant pour but d'atténuer la différence des déviations galvanométriques qui se manifeste quand R et X diffèrent beaucoup. G est un galvanomètre D'Arsonval dont les déviations sont lues à l'aide d'une lunette placée à 8 mètres de distance du miroir. Le choix de cet instrument résultait de son puissant amortissement. Pour augmenter sa sensibilité, le cadre mobile était suspendu par un fil très long et très fin et le fil inférieur était à peine tendu ; dans ces conditions, l'instrument était sensible à un courant de trois cent millionièmes d'ampère.

Pour faire une mesure on commence par placer C' dans une position telle que le galvanomètre soit en dérivation avec l'ohm étalon R. On prend ensuite sur la boîte de résistances RB une résistance convenable R_R déterminée par quelques essais. On ferme le circuit en K, on observe la déviation a du galvanomètre, puis on renverse le courant et on observe la nouvelle déviation b. Le circuit est alors ouvert et on note la température de R. On recommence une seconde expérience après avoir mis le galvanomètre en dérivation sur X et pris sur la boîte de résistances une résistance R_x convenable pour que les déviations galvanométriques soient à peu près égales aux précédentes.

On observe ces déviations a_1 et b_1 puis la température T_X de la résistance X. On refait ensuite la première expérience, puis la seconde et ainsi de suite; le puissant amortissement du galvanomètre permet d'effectuer chaque expérience en 20 secondes.

La résistance X est donnée par l'équation

$$X = \frac{a_1 + b_1}{a + b} \frac{R_X + S}{R_R + S} R$$

S étant la résistance du galvanomètre et des fils de jonctions. Toutefois, cette relation suppose que la différence de potentiel des pôles de l'accumulateur ne change pas dans l'intervalle de deux observations, que la résistance du galvanomètre est suffisamment grande pour qu'on puisse négliger la variation qu'éprouve le courant principal quand on met le galvanomètre en déviation, et, enfin, que les déviations galvanométriques sont proportionnelles aux intensités des courants qui les produisent. Nous avons dit qu'on prend un accumulateur de grande capacité pour satisfaire à la première de ces conditions. Comme la résistance du circuit galvanométrique dépasse 2.000 ohms et que les résistances sur lesquelles on le met en dérivation ne dépassent guère 1/4 d'ohm, la seconde condition est pratiquement remplie. Quant à la troisième, les expériences montrent qu'elle est également satisfaite dans les limites où l'on opère.

L'un des fils soumis aux expériences était obtenu en étirant une bande de cuivre provenant d'un dépôt électrolytique de 2,5 mm. d'épaisseur. La détermination de sa densité spécifique donne 8,9511 pour sa densité par rapport à l'eau à 15 degrés. En prenant 0,99915 pour la densité absolue de l'eau à 15 degrés, on en déduit 8,9587 pour celle du cuivre à la même température. La masse du fil étant de 5,6009 grammes, et sa longueur de 250 cm., on trouve pour son diamètre 0,05151 cm. à 15 degrés. La résistance de ce fil a été mesurée à des températures très rapprochées variant de 12°9 à 90°2. Deux tables de deux graphiques donnent les valeurs observées. Ces valeurs conduisent aux résultats suivants :

Résistance spécifique du cuivre dur à 0° C. . . .	1603 unités CGS
Coefficient de température	0,00408.

Les mesures faites sur un fil semblable, mais recuit dans un tube de verre traversé par un courant de gaz carbonique pour éviter l'oxydation, donnent :

Résistance spécifique du cuivre recuit, à 0°C. . .	1566 unités CGS
Coefficient de température	0,00418.

D'autres mesures furent faites sur un troisième fil obtenu de la manière suivante : on préparait une solution de sulfate de cuivre pur en faisant passer un courant dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique pur, l'anode étant formée d'un bloc du cuivre électrolytique ayant servi à faire les fils précédents et la cathode étant enfermée dans un vase de terre poreuse neuf. On décomposait ensuite cette dissolution de sulfate de cuivre par un courant, en prenant, encore comme anode un bloc du cuivre électrolytique dont il vient d'être question et comme cathode une feuille de cuivre bien polie. Quand le dépôt atteignait une épaisseur de 2,5 mm., on le détachait de la feuille de cuivre et on en découpait une bande que l'on étirait à la filière. Le fil était ensuite recuit dans un tube de verre traversé par un courant de gaz carbonique.

La longueur de ce fil était de 300 cm. En prenant pour la densité absolue du cuivre le nombre trouvé expérimentalement avec les fils précédents, on trouve 0,051434 cm. pour son diamètre. La mesure de sa résistance conduit à :

Résistance spécifique du cuivre recuit	1.559 unités CGS
Coefficient de température	0,00415

Les nombres 1566 et 1559 obtenus pour les deux derniers échantillons ne différant entre eux que de 0,4 p. 100, il est probable que l'un et l'autre échantillon étaient parfaitement purs, c'est-à-dire que la limite de purification électrolytique du cuivre était déjà atteinte pour le premier. Aussi l'auteur pense-t-il que la moyenne de ces nombres peut être prise comme

valeur probable de la résistance spécifique absolue du cuivre pur recuit. On aurait donc pour le cuivre pur :

Résistance spécifique à 0° C.	cuivre dur. .	1603 unités CGS
	cuivre recuit.	1563
Coefficient de variation. . .	cuivre dur. .	0,00408
	cuivre recuit.	0,00416

Nous devons ajouter que l'auteur ne tenant pas compte des variations qu'éprouvent la longueur et le diamètre du fil sous l'influence de la température, la résistance spécifique qu'il considère est celle d'un cube de cuivre qui, à 15° C, aurait 1 cm. de côté.

Pour compléter ces résultats nous devrions indiquer le nombre adopté par l'auteur pour exprimer la valeur de son ohm étalon en unités absolues ; l'auteur ne le donne pas dans son Mémoire. J. B.

CHRONIQUE

L'éclair en boule. — L'*Indépendant* de Boulogne nous apporte le récit suivant :

Notre concitoyen, M. E. de Poilly, ingénieur-architecte, a été témoin, mercredi dernier, du phénomène, assez rare, connu dans le monde savant sous le nom de « éclair en boule ».

M. de Poilly montait à la Haute-Ville, lorsque, arrivé à quelque distance de la porte des Dunes, il aperçut, après un éclair fulgurant, une boule lumineuse d'un blanc verdâtre, de la grosseur d'un petit melon, qui planait près de terre le long des arbres de l'Esplanade, en face de la statue de Mariette.

Elle subsista un temps très appréciable, puis éclata avec un bruit formidable ; tous nos lecteurs ont entendu le coup, mercredi, vers onze heures du matin.

Accident dû à l'électricité. — Un accident à peu près identique à celui qui s'est produit ces jours derniers à Bordeaux, sur la ligne de tramway du Vigean, est survenu à Bucharest.

Le 9 décembre, le tramway électrique de Bucharest était ouvert au public et, dès le 13 décembre, il était obligé, par ordre des autorités, de suspendre son service. Un des nombreux fils du téléphone qui passent au-dessus du câble du tramway se rompit et tomba sur le câble. Ce contact causa de graves dommages non seulement dans divers bureaux secondaires, mais aussi au bureau central des télégraphes qui est en même temps la tête du réseau des lignes téléphoniques.

Les fils de cuivre de ce dernier réseau passèrent instantanément au rouge blanc ; les parties en fer ou en cuivre jaune des appareils se fondirent comme de la cire, et ce ne fut que grâce à l'activité énergique et à la présence d'esprit des employés des téléphones qui se trouvaient dans le bureau au moment de l'accident que de graves malheurs purent être évités.

Tous les appareils du district ont été détruits ou du moins rendus impropres à tout service.

Bicyclette électrique. — Dans la lutte au record vélocipédique, on sait que les entraîneurs jouent un rôle important. Pour obtenir un train rapide et régulier, le coureur Pingault propose de se servir de bicyclettes électriques. Le modèle qu'il fait construire ne diffère guère de la machine ordinaire.

Le cadre recevra des accumulateurs spéciaux et semblera simplement être muni d'une valise noire épousant sa forme. A l'arrière, sous la selle, se trouvera le moteur électrique dont la poulie actionnera la roue motrice, directement sur le pneumatique. Le pédalier, la chaîne et les autres parties de la machine ne sont pas modifiés, puisque le cycliste pédale selon sa force et est simplement secondé par le moteur électrique.

Un commutateur à plusieurs directions placé sur le guidon permet de régler l'allure à volonté.

Les accumulateurs emmagasineront le courant nécessaire à deux heures de marche consécutives, ce qui est plus que suffisant pour les besoins d'entraînement sur piste.

Comme ces accumulateurs pourront dans ces conditions être relativement légers, nul doute que la vitesse ordinaire pourra être considérablement dépassée.

La foudre. — Il est assez rare d'avoir à enregistrer des coups de foudre au mois de janvier. Ils ont pourtant été assez nombreux cette année, et on nous en a signalé de toutes les parties de la France.

A Conches, dans l'Eure, la foudre est tombée sur une ferme qu'elle a incendiée. Les détonations et les éclairs se succédaient à de courts intervalles.

A Nantes, la foudre a atteint dans la nuit du 13 au 14 janvier l'église du Tablier; les ardoises ont été projetées à 50 mètres environ, l'angle sud du beffroi a été entièrement enlevé, et la façade nord-ouest trouée par le fluide, les tuyaux d'égout percés.

En rade d'Alger, la foudre est tombée sur le paquebot *Général Chanzy*; le paratonnerre du paquebot a été fondu, trois hommes de l'équipage ont été projetés à une distance de dix mètres sur le pont.

Enfin, on écrit de Nice que pendant un récent orage, la foudre a allumé quelques becs de gaz de la villa Chambrun.

Protection contre les dangers de voisinage des lignes aériennes. — Il y a quelques années, l'Administration télégraphique britannique a protégé les instruments de toutes les lignes croisant des conducteurs à courants intenses en intercalant des fils fusibles; cette mesure s'est montrée très efficace, mais elle n'était appliquée qu'aux lignes télégraphiques en croisant d'autres et non à celles parallèles aux autres, mais voisines. Un accident assez singulier, que relate l'*Elektr. Zeitsch.*, est venu démontrer qu'il fallait en généraliser l'application.

Cet accident s'est produit à Darlaston, dans le Staffordshire, où le Post-Office a établi, sur un côté d'une route, un certain nombre de lignes, tandis que de l'autre côté passe la ligne aérienne du tramway électrique du South Staffordshire; quelques fils téléphoniques croisent la route au-dessus des autres lignes. Un de ces fils s'étant rompu, le 12 janvier dernier, s'enroula dans sa chute autour des lignes télégraphiques; la portée entre ce point et le poteau le plus proche était si grande que la courbe du fil atteignit la ligne du tramway électrique, dont le courant passa dans toutes les lignes à faible courant ainsi réunies. On n'a pu évaluer le dommage causé dans les postes téléphoniques, mais les appareils télégraphiques ont été fortement avariés. A Darlaston, c'est un Morse, à Wolverhampton, un relais et un galvanomètre, à Birmingham, quatre relais et un galvanomètre qui eurent leurs bobines complètement brûlées.

La téléphonie interurbaine en Europe. — Peu après la mise en service de la ligne téléphonique Berlin-Vienne, on a essayé d'y relier d'une part la ligne Vienne-Trieste et d'autre part la ligne Berlin-Hambourg, de façon à obtenir une ligne d'une étendue de 1.561 kilomètres.

Quoique différents commutateurs se trouvassent intercalés, cette ligne fonctionna d'une façon parfaite. Comme on va construire une ligne reliant Copenhague à Hambourg, on aura la possibilité de communiquer de Trieste, par Vienne, Berlin, Hambourg, Copenhague, Stockholm jusqu'à Sundwall, point le plus septentrional du réseau suédois interurbain. On prévoit toutefois que la conversation ne sera guère possible à cette distance de 3,200 kilomètres.

Les lignes suédoises sont en général établies en fil de 4 rum, et il sera nécessaire de les améliorer.

Sable magnétique. — La Suburban Traction C°, à Orange, et la Consolited Traction C°, de Newark (Etats-Unis), font en ce moment des essais consistant à répandre sur les rails des tramways des minerais magnétiques pulvérisés au lieu du sable ordinaire. Ce sable magnétique est un bon conducteur de l'électricité et assure la communication des roues avec les rails malgré la poussière, la boue ou la neige.

Ce sable magnétique provient des usines situées à Edison (N. J.), dont le président est M. Th. A. Edison.

Développement des muscles par l'électricité. — Les applications de l'électricité à la médecine ne sont plus discutables : mise entre des mains expertes et savantes, l'électricité constitue assurément un moyen de traitement parfaitement efficace et scientifique. Son action sur les muscles est particulièrement frappante et nous verrons peut-être, si nous en croyons les journaux américains, la gymnastique électrique se faire une place spéciale à bref délai.

Il résulte, en effet, d'observations sérieuses que le poids des muscles peut être augmenté dans des proportions pouvant atteindre jusqu'à 40 p. 100 lorsqu'on les soumet à l'action répétée d'un courant électrique. Cette augmentation de poids correspond à un développement absolument normal du muscle, obtenu sans recourir à une gymnastique fatigante. Il suffirait, dit le *Scientific american*, de s'étendre sur une chaise longue et de soumettre le ou les membres à l'action du courant.

Les guetteurs des électro-sémaphores. — La proposition de loi tendant à la militarisation des guetteurs des électro-sémaphores de la marine, présentée par M. Guieysse et plusieurs de ses collègues vient d'être distribuée à la Chambre des Députés.

L'exposé des motifs de cette proposition, en montrant le rôle considérable que les guetteurs des électro-sémaphores sont appelés à jouer en temps de guerre, signale combien il est singulier que ce personnel qui est recruté et commandé par la marine, qui a lui-même sous ses ordres des inférieurs militaires, garde le caractère civil.

Dans l'intérêt même de la défense nationale qui place au premier rang, en temps d'hostilités, les guetteurs sémaphoriques, il y a nécessité à faire cesser cette situation.

Pendant la dernière législature une proposition dans ce sens avait été déposée et rapportée par M. de Kerjégu. Malheureusement, ce projet ne put être voté par la précédente Chambre.

Diaphragme en savon. — Kellner emploie du savon comme substance pouvant remplacer les diaphragmes poreux dans l'électrolyse des chlorures alcalins. Ce diaphragme évite la diffusion de l'alcali caustique en dehors du compartiment de la cathode.

Réforme télégraphique. — Sur une autorisation de la Direction générale des Postes et Télégraphes, un office international de télégraphie économique va être établi à Paris.

Il sera mis à la disposition du public un Code rédigé dans les principales langues parlées et dans lequel chaque phrase correspondant aux besoins de la vie usuelle sera résumée en un seul mot.

En se référant à ce Code, tout expéditeur pourra s'exprimer comme en de véritables lettres, avec une économie de 100 à 1.000 p. 100.

Des correspondants seront installés dans les principales villes de chaque pays, traduiront les dépêches au moyen de la clé secrète de l'office, et les remettront au clair, s'il y a lieu, aux bureaux officiels aux prix du tarif intérieur.

Pour les communications par câble, l'économie s'élèvera à 1 fr. 25 centimes par mot supprimé.

Sirène électrique. — M. Pellat a présenté à la Société de Physique une sirène construite sur ses indications par M. Ducretet, qui diffère de la sirène de Cagniard de la Tour par les deux points suivants:

1° Les trous des plateaux ont une direction normale à ceux-ci; 2° la rotation est obtenue par un moteur électrique. Pour cela, sur l'axe du disque tournant est disposé un petit anneau Gramme placé entre les mâchoires d'un électro-aimant; le système est monté en dérivation et le courant est fourni par trois accumulateurs en tension. Aucune résistance supplémentaire n'est introduite dans le circuit inducteur; mais des résistances auxiliaires sont placées dans le circuit de l'anneau, au moyen d'un rhéostat continu. On peut ainsi faire varier à volonté la vitesse de rotation, l'amener très rapidement à une valeur fixe et il en est de même, par conséquent, de la hauteur du son rendu par la sirène.

Cet instrument présente les avantages suivants: 1° l'unisson du son étudié s'obtient bien plus aisément qu'avec les sirènes ordinaires et se maintient pendant longtemps: 2° les qualités du son, hauteur et intensité, sont rendues indépendantes; on peut obtenir des sons graves intenses ou des sons aigus faibles, ce que ne permet pas la sirène de Cagniard de la Tour; 3° les sons graves sont aussi purs, ce qui n'a pas lieu dans la sirène ordinaire; 4° on peut interrompre le courant d'air, pour cesser de faire parler la sirène, sans modifier la hauteur du son rendu quand l'air est insufflé à nouveau.

M. Pellat a fait fonctionner ce nouvel appareil, ainsi que deux sirènes ordinaires pour faire la comparaison.

M. Arnoux pense qu'on obtiendra encore plus de fixité dans la hauteur du son par l'addition, sur l'axe de rotation, d'un disque de cuivre rouge tournant dans un champ magnétique.

Tout en reconnaissant la justesse de l'idée, M. Pellat fait remarquer à M. Arnoux que dans la pratique le son rendu par la sirène électrique, telle qu'elle est construite, est suffisamment fixe.

Voiture d'ambulance électrique. — Voici quelques détails sur la voiture d'ambulance électrique, en circulation sur les voies de tramways de la ville de Saint-Louis, et que nous avons déjà signalée à nos lecteurs. Cette voiture a une longueur totale de 10 mètres; sa longueur intérieure est de 7 m. 30; sa largeur de 2 m. 15. Les portes sont sur le côté droit, aux deux extrémités de la voiture; les mar-

chepieds sont placés obliquement, afin de permettre un accès facile, soit de front, soit de côté, aux porteurs de civières. La voiture est partagée en son milieu par une cloison en bois, haute de 1 m. 65, afin de pouvoir isoler les deux sexes.

Un médecin, un garde-malade et un mécanicien composent le personnel de cet hôpital ambulant qui sera en tournée continuelle pour recueillir toutes les victimes d'accidents. Un horaire sera publié afin que les agents de police et même les particuliers puissent savoir le moment précis de son passage en un point déterminé.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Eclairage électrique de la Chambre des Députés. — En exécution de la résolution votée par la Chambre des Députés dans sa séance du 20 novembre 1894, un appel est fait aux industriels qui désirent présenter des projets et propositions, conformément à un cahier des charges déposé à la Questure de la Chambre des députés.

Ne seront admises à concourir que les maisons françaises ayant exécuté dans de bonnes conditions un travail analogue à celui qui fait l'objet du nouvel éclairage de la Chambre.

Toute personne remplissant les conditions indiquées ci-dessus pourra, après le dépôt d'un cautionnement en numéraire de 5.000 francs entre les mains du trésorier de la Chambre, qui lui en donnera récépissé, se présenter à la Questure de la Chambre des Députés (*bureau des bâtiments*), où il lui sera remis les documents nécessaires.

Les facilités d'accès dans le palais pour cette étude seront données aux jours et heures fixés par l'administration.

Les projets et propositions devront être remis à la Questure avant le 31 mars, date de rigueur.

Les projets devront comporter :

1° Un plan général du palais de l'échelle minima de 0 m. 0001 pour mètre, indiquant l'usine et les principales canalisations, avec tracé de tous les circuits;

2° Un plan détaillé et une coupe à l'échelle d'au moins 0 m. 02, pour mètre, de l'usine et de l'emplacement de tous ses appareils;

3° Tous autres documents que les soumissionnaires jugeront utile de donner à l'appui de leurs projets;

4° Un devis estimatif, dans le plus grand détail, de tous les appareils, canalisations et travaux accessoires;

5° Un mémoire explicatif détaillé des projets;

6° Les modèles et types énumérés dans le cahier des charges;

7° La liste des travaux analogues exécutés par les auteurs des projets, avec indication des références.

Alger. — L'*Akhbar* nous apprend que la question de l'éclairage électrique d'Alger a été soulevée au Conseil municipal d'Alger. Sur la proposition de M. Crispo une commission a été nommée pour mener à bien les études nécessaires. Déjà plusieurs propositions ont été faites de la part de différents constructeurs.

Avignon. — Le Conseil municipal vient d'approuver le projet de traité avec M. Ducommun, directeur d'une usine d'électricité à Avignon, pour l'introduction de la traction électrique sur plusieurs lignes de tramways. D'après ce projet, les lignes concédées à M. Ducommun seraient celles de Saint-Ruff, de Montclar, de Saint-Lazare, des Rotondes, de Villeneuve et de Pont-d'Avignon. La convention n'aurait qu'un caractère provisoire; elle serait faite pour une durée de quatorze mois à partir du 1er février 1895 afin de donner à M. Ducommun la faculté et le temps de constituer une société.

Bordeaux. — L'administration étudie, en ce moment, un projet qui sera soumis prochainement à l'approbation du Conseil municipal.

Voici les grandes lignes de ce projet.

Nous ne parlerons pas de l'éclairage électrique du Jardin des Plantes. Celui-là est adopté et l'été prochain les travaux seront, paraît-il, achevés.

Le projet comprend l'éclairage des Quinconces, de Tourny, de l'Intendance, de la rue Esprit-des-Lois et quelques grands cours.

L'électricité serait employée pour les Quinconces, les becs Auer et l'électricité pour les autres voies.

Les candélabres de l'Intendance seraient installés cours d'Alsace-et-Lorraine, et mille becs Auer répandus dans toute la ville.

Bien entendu, ce n'est qu'un commencement, les autres parties de la ville devant passer après les grandes voies.

Il ne reste plus maintenant à l'administration qu'à s'entendre avec la Compagnie du gaz.

Sera-ce possible?

Carbonne (Haute-Garonne). — Un projet pour

l'éclairage électrique de cette ville vient d'être adopté.

Le chiffre des dépenses prévues s'élève à 76.000 francs. Il a suffi à la municipalité de Carbonne d'un délai de quatre mois pour étudier et approuver le projet d'éclairage électrique.

Saint-Galmier. — La municipalité vient de remplacer l'éclairage au pétrole par la lumière électrique. Elle a, en effet, doté la Ville de cinquante-quatre lampes électriques qui éclairent brillamment les rues et places.

Cet éclairage est également installé chez les commerçants, chez un grand nombre de particuliers à l'église et à l'Hôtel de Ville.

L'installation de l'électricité à l'établissement des eaux minérales est des mieux conditionnés : les ateliers et magasins sont éclairés par de puissantes lampes, dont une de 500 bougies, deux de 200, deux de 100 et 75 de 16 bougies.

Gérardmer. — Dans sa dernière séance, la commission départementale des Vosges a accordé à M. Gutton, architecte à Nancy, la concession du tramway à construire entre la place de la Gare, à Gérardmer, et le lac de Retournemer.

La Guerche (*Cher*). — Un serrurier de cette localité, voulant éclairer ses ateliers à l'électricité, a fait l'acquisition du matériel nécessaire pour pouvoir alimenter une centaine de lampes, ce qui lui permettra d'éclairer les magasins et maisons particulières jusqu'à une distance de 200 mètres de ses ateliers. Si les voisins s'y prêtent, voilà donc une petite distribution électrique dont l'organisation se sera accomplie avec le maximum de simplicité. Si les initiatives de ce genre se multipliaient, nombre de petites localités pourraient sans grands frais améliorer leur éclairage.

Lesparre. — Il sera procédé, le 10 mars 1895, à 1 heure de l'après-midi, à la mairie de Lesparre, à la concession, par voie d'adjudication et au rabais, du monopole de l'éclairage électrique dans la commune de Lesparre.

Le prix annuel sur lequel le rabais sera consenti, à tant pour cent, est fixé à 3.500 francs. Le cahier des charges est déposé à la mairie de Lesparre.

Nancy. — En plaidant pour l'adoption des tramways électriques à Nancy, l'*Economiste français* exprime les vues suivantes relatives au côté artistique, qui semble tant préoccuper les municipalités hostiles au trolley. Voici ce que dit en dernier notre confrère :

Son principal inconvénient réside dans la vue du câble et surtout dans celle des innombrables poteaux qui le supportent. Dans les villes où le mode aérien est en usage, on les appelle irrévérencieusement des *potences*, et il faut bien convenir que leur aspect rappelle du premier coup cet instrument de supplice. Quant au câble, à la hauteur où il est placé, il n'est guère plus disgracieux à l'œil qu'un fil télégraphique quelconque.

Nous ne voyons pas bien les rues élégantes de Nancy encombrées de ces potences aux longs bras qui sont si disparates dans le siècle des lumière et de la guillotine. Il est probable, pourtant, que Nancy devra, comme Dijon, en passer par là.

Peut-être, d'ailleurs, trouvera-t-on une forme moins lugubre. Dans une ville où l'art décoratif est en honneur, il serait surprenant qu'on ne trouvât pas à déguiser le profil par trop rudimentaire d'un support ou d'un poteau. La potence décorative... tel est le sujet que devraient étudier dès à présent nos artistes et que la municipalité, après une entente avec la compagnie, pourrait mettre un de ces jours au concours.

Nous ne plaisantons pas le moins du monde. Il paraît qu'au Havre, où les poteaux servent en même temps de phares électriques et ont par conséquent une forme particulière, ils font assez bon effet. Voilà un exemple à imiter.

Nous aurons la bonne fortune, à Nancy, de pouvoir installer la lumière électrique et les tramways électriques à peu près vers la même époque. Il serait donc facile de combiner ces progrès et de faire servir, comme au Havre, les mêmes colonnes à supporter le câble et les appareils d'éclairage.

Il en résulterait une économie qui pourrait être employée au perfectionnement desdites colonnes

Nous sommes persuadé que cette coïncidence a déjà frappé l'administration, qui ne la perdra pas de vue quand elle sera appelée à traiter soit avec une compagnie d'éclairage par l'électricité, soit avec la compagnie des tramways.

Nîmes. — C'est d'une singulière cause d'extinction de l'éclairage électrique que les Nîmois ont été victimes le 7 janvier dernier, dit l'*Etincelle électrique*. Vers 10 heures du soir, les unes après les autres, les lampes à arc de l'éclairage public se

sont éteintes, plongeant les rues dans l'obscurité. Renseignements pris, il s'agissait tout simplement de la rupture de l'échelle roulante que l'on promène dans la ville pour l'entretien des lampes et qui était le seul échantillon de son espèce que l'on possédait à l'usine. On n'avait pas pu, dans la journée, remplacer les charbons et, le soir, les lampes s'éteignaient faute de combustible.

Cela peut passer pour un exemple remarquable de prévoyance administrative.

Noyal-sur-Vilaine (Ille-et-Vilaine). — La ville de Combourg qui doit être éclairée à l'électricité le 24 février prochain, se trouve devancée par celle de Noyal-sur-Vilaine, qui a inauguré le 4 du même mois, jour de la grande foire annuelle, l'éclairage électrique de ses rues et de la nouvelle église, objet de l'attention des touristes.

La municipalité de Noyal donne ainsi l'exemple aux édiles du chef-lieu du département. Rennes, en effet, n'est pas, sous ce rapport, à la tête du progrès dans la région.

Oran. — La commune d'Oran reçoit de nombreuses propositions d'industriels qui offrent d'installer l'éclairage électrique pour la ville et les particuliers.

Toutes ces propositions vont être prochainement soumises à la commission chargée d'examiner la question du gaz.

Rouen. — Les Rouennais auront des tramways électriques pour l'Exposition de 1896. Le Conseil municipal vient, en effet, d'adopter les propositions de la Compagnie actuelle des tramways. C'est le fil aérien qui a été choisi, dans les conditions suivantes.

La ville s'est trouvée en présence de trois propositions : 1° celle de la Société des Tramways électriques, représentée par M. Pitot; 2° la Compagnie actuelle des tramways, directeur M. Mancini; 3° la Société Générale d'éclairage et de force motrice de Paris, qui présente un projet de traction par l'air comprimé.

Saut la compagnie actuelle, dit le rapporteur, « aucune compagnie n'a offert à la ville sur des bases fermes, avec des conditions nettement arrêtées, par conséquent acceptables, un projet d'installation d'un réseau complet de traction électrique à câble souterrain. »

La Société d'études représentée par M. Pitot, qui, tout d'abord avait proposé, d'une manière ferme, l'installation d'un système double, (à traction aérienne dans certaines grandes artères, et souterraine pour deux rues de peu de largeur) a tout à coup abandonné ses premières propositions pour en soumettre d'autres : un système américain souterrain; puis enfin cette Société a complètement disparu du nombre des compagnies concurrentes.

Quant au système Conti (air comprimé), la commission ne s'y est pas arrêtée, à raison des inconvénients de la canalisation souterraine qu'il exige et qui amèneraient un bouleversement dans les canalisations du gaz, de l'eau et des égouts.

Le cahier des charges imposé à la Compagnie des tramways actuels pour la transformation de son système de traction et le complément de son réseau, contient entre autres, les stipulations suivantes.

Les travaux devront être achevés pour le 1er avril 1896.

La Compagnie ne pourra imposer à la ville le système des fils aériens *que pendant dix années*, à dater de l'époque de la rétrocession définitive. Il sera fait, *au contraire*, l'application, dans l'intérieur de la ville de Rouen, de *tous systèmes nouveaux* dûment expérimentés dans d'autres villes de France, après toutefois qu'une commission arbitrale désignée au cahier des charges en aura ainsi décidé.

Le cahier des charges réserve enfin pour la ville « le *droit d'autoriser toute autre entreprise* de transport usant de la voie ordinaire, et, en outre, d'accorder de nouvelles concessions de voies ferrées, *s'embranchant ou non* sur celles faisant l'objet du présent cahier des charges ou qui seraient établies en prolongement de ces mêmes voies.

Soissons. — *L'Etincelle électrique* nous apprend que dans sa dernière réunion, la Commission nommée par le Conseil municipal a décidé de confier à l'examen d'un avoué et d'un ingénieur électricien, le cahier des charges qui a été dressé pour l'établissement de l'éclairage électrique.

Le Conseil pourra ainsi prendre des résolutions définitives en toute connaissance de cause.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 16 Février 1895. N° 7.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

ÉLECTROSTATIQUE

NON FONDÉE SUR LES LOIS DE COULOMB

FORCE ÉLECTRIQUE
AGISSANT A LA SURFACE DE SÉPARATION
DE DEUX DIÉLECTRIQUES

I

Notre esprit ne peut concevoir qu'un corps agisse sur un autre corps éloigné sans qu'il existe un intermédiaire : les lois de Newton sur l'attraction universelle, ou celles de Coulomb sur l'électricité et le magnétisme, ne peuvent être considérées que comme une équivalence mathématique des phénomènes réels. Mais cette équivalence mathématique, exacte dans certaines conditions, peut ne plus l'être dans d'autres. C'est ce qui a lieu pour les lois de Coulomb concernant l'électricité : tant que le milieu diélectrique qui sépare les conducteurs est l'air, ces lois conduisent à des conséquences qui ont toujours été trouvées exactes quand elles ont pu être soumises au contrôle de l'expérience ; si l'on remplace l'air entre les conducteurs par un autre diélectrique homogène, l'huile de pétrole par exemple, il faut pour trouver des résultats exacts, ou bien prendre une autre unité de quantité d'électricité, ou si l'on veut conserver la même unité, modifier la constante a de la relation de Coulomb $f = a\frac{mm'}{r^2}$ qui donne la force f qui s'exerce entre deux points électrisés de charge m et m' placés à une distance r.

On voit tout de suite par là que les lois résumées par cette relation ne sont plus applicables quand, entre les conducteurs, existent plusieurs diélectriques de natures différentes (air, paraffine, pétrole, etc.), puisqu'on ne saurait quelle est la valeur qu'il faut attribuer à la constante a. Les lois de Coulomb sont donc incapables de faire prévoir ou d'expliquer les phénomènes qui se passent à la surface de séparation de deux diélectriques qui vont faire l'objet de la seconde partie de cet article.

Faut-il alors avoir recours à des hypothèses comme celle de Lord Kelvin sur la polarisation des diélectriques ou celle de Maxwell sur les forces de tension et de pression que le champ électrique déterminerait dans les milieux diélectriques? On le peut assurément si l'on veut seulement avoir un guide pour des investigations expérimentales; par le fait, cette dernière hypothèse de Maxwell a conduit M. Quincke à une expérience qui a mis en évidence, pour la première fois, l'existence de forces agissant à la limite de deux diélectriques non électrisés placés dans un champ électrique. Cette hypothèse de Maxwell est même très séduisante, puisqu'elle explique les phénomènes électriques par des *actions de milieu* (pressions ou tensions). Mais M. H. Poincaré a montré qu'elle n'est pas nécessaire pour expliquer les phénomènes électriques par des actions de milieu et même qu'elle n'est pas très vraisemblable. Je montrerai plus loin qu'on peut sans avoir recours à ces hypothèses établir *a priori* la nécessité des forces

agissant à la surface de séparation de deux diélectriques, dont la découverte par M. Quincke semblait être une confirmation de la justesse des hypothèses de Maxwell. Celles-ci du reste conduisent difficilement à l'explication complète de phénomènes électrostatiques des plus simples et des plus connus, tels que l'action mutuelle de deux petits corps électrisés.

Ne vaut-il pas mieux édifier l'électrostatique non sur des hypothèses, si séduisantes qu'elles puissent être, mais sur des bases expérimentales, comme on l'a fait dans le cas d'un seul diélectrique en s'appuyant sur les lois expérimentales de Coulomb, en donnant plus de largeur à ces bases pour comprendre le cas général d'un milieu diélectrique hétérogène? C'est ce que j'ai essayé de faire. Je me suis appuyé sur quelques expériences classiques dont le résultat est incontesté, sur les principes de la thermodynamique et sur trois principes spéciaux à l'électricité, dont deux d'ordre expérimental, presque toujours admis implicitement jusqu'ici dans les démonstrations concernant l'électrostatique, et le troisième évident quand on considère les phénomènes comme dus à des actions de milieu; j'ai pu établir ainsi en toute généralité et sans faire d'hypothèse, par des considérations le plus souvent très simples, en partie connues en partie nouvelles, toutes les relations qu'on déduit habituellement, des lois de Coulomb, ainsi que quelques autres relations qui ne pouvaient être déduites que des théories hypothétiques de Maxwell, ou qui sont nouvelles.

Je vais donner ici un aperçu de ce travail [1] en insistant un peu plus sur ces dernières relations qui concernent les forces agissant à la surface de séparation de deux diélectriques non électrisés placés dans un champ électrique.

II

Il convient de définir d'abord une quantité d'électricité comme une grandeur mathématique; l'expérience classique du *cylindre de Faraday* permet aisément de le faire : une enveloppe métallique close, ou dont l'ouverture peut être fermée par un couvercle métallique manié par un manche isolant, communique par un fil de métal avec l'aiguille d'un électromètre à quadrants [1]; si l'on introduit dans la cavité un corps électrisé bien isolé, l'aiguille dévie dans un sens ou dans l'autre suivant que le corps est électrisé positivement ou négativement et la déviation est indépendante de la position du corps électrisé à l'intérieur de la cavité; si on introduit un second corps électrisé de la même manière la déviation devient plus grande, etc.

Cette expérience capitale permet les définitions suivantes : 1° Deux corps sont dits contenir la même *quantité d'électricité* (ou la même *charge*) quand, introduits successivement dans le cylindre de Faraday, l'aiguille de l'électromètre donne la même indication.

2° Un corps A est dit avoir une charge n fois plus grande qu'un corps B dont l'électricité est de même nature, s'il produit à lui seul la même déviation que n corps électrisés introduits simultanément dans le cylindre et ayant chacun la même charge que B. Du cas de n entier on passe aisément au cas de n fractionnaire ou incommensurable.

3° Un corps A électrisé positivement est dit avoir la même charge en valeur absolue qu'un corps B électrisé négativement, quand introduits simultanément dans le cylindre de Faraday la déviation de l'aiguille reste nulle.

Avec la convention habituelle de considérer comme des grandeurs positives les charges des corps électrisés positivement, et comme

(1) Il va paraitre *in extenso* dans les *Annales de Physique et de Chimie*.

1. Dans un cours fait à des élèves qni n'ont aucune notion sur l'électricité, il faut auparavant faire un exposé expérimental des phénomènes électriques fondamentaux (attraction et répulsion électriques, conducteurs et diélectriques, phénomènes d'influence, étincelle, etc.), décrire l'électroscope à feuilles d'or, l'électromètre quadrants et enfin indiquer, ne fût-ce que pour pouvoir se servir de ce dernier instrument, en quoi consiste une pile de plusieurs éléments montés en tension, le tout présenté comme des faits, sans aucune explication théorique.

des grandeurs négatives les charges des corps électrisés négativement, l'expérience prouve que l'indication de l'aiguille ne dépend que de la somme algébrique des charges électriques introduites dans le cylindre de Faraday.

Le même appareil fournit alors aisément la démonstration de cette loi fondamentale connue sous le nom de *loi de la conservation de l'électricité* et qui s'énonce ainsi :

« Quelles que soient les modifications mécanique, physique, chimique, etc., qu'éprouve un système isolé au point de vue électrique, la somme algébrique des charges électriques des diverses parties du système reste constante. »

L'expérience permet facilement de constater qu'un petit corps électrisé C, placé en un point déterminé A d'un champ électrique, y est soumis à une force dont la direction ne dépend pas de la nature de la charge du point électrisé, dont le sens change suivant que le point est électrisé positivement ou négativement et dont l'intensité est proportionnelle à la charge électrique du corps C; d'où la définition suivante : *la direction et le sens du champ en un point* A sont la direction et le sens de la force agissant sur un petit corps C électrisé positivement placé en A; le quotient de cette force par la charge du corps C est l'*intensité du champ en* A.

Les *lignes de force*, les *tubes de force* peuvent se définir ensuite à la façon habituelle.

Des propriétés bien connues des *écrans électriques* on peut déduire que l'électrisation et le champ ont une valeur nulle à l'intérieur d'un conducteur homogène en équilibre électrique. Il peut ne plus en être ainsi pour un conducteur hétérogène; par exemple l'électrisation et le champ ne sont pas forcément nuls dans le voisinage immédiat de deux conducteurs au contact : l'expérience d'un disque de cuivre et d'un disque de zinc appliqués l'un contre l'autre puis séparés normalement prouve que ces disques sont légèrement électrisés; or ce n'est pas leur séparation qui a pu produire ces charges, elles existaient quand les disques étaient appliqués l'un contre l'autre. Ces phénomènes et bien d'autres montrent l'action de la matière sur l'état d'électrisation, c'est-à-dire l'existence de forces qui ont été appelées *pondéro-électriques*. Elles viennent compliquer l'énoncé des phénomènes d'électrostatique, si l'on veut que ceux-ci soient rigoureux; dans bien des cas, il est vrai, on peut les négliger; mais il n'en est pas toujours ainsi : dans le cas des piles, par exemple, elles jouent un rôle capital. Il faut donc en tenir compte en général; c'est ce qui a été fait.

Il est très aisé d'établir expérimentalement, au moyen du cylindre de Faraday, la loi dite *de Faraday*:

« La quantité d'électricité qui se développe sur la surface interne d'une enceinte conductrice fermée, est égale et de signe contraire à la somme algébrique des quantités d'électricité contenues à l'intérieur de l'enceinte. »

C'est une des lois fondamentales sur lesquelles je m'appuie.

Arrivons à la définition du *potentiel*. Je ne le définis que dans le cas d'un champ en équilibre électrique; car, quand il n'y a pas équilibre, les valeurs du champ ne dérivent plus toujours d'un potentiel.

Considérons un champ électrique comprenant des conducteurs et divers diélectriques, et un petit corps électrisé C, qui après avoir décrit une courbe quelconque, revient à son point de départ. Prenons comme un système ce petit corps C et tous les autres corps électrisés qui constituent le champ électrique. Supposons qu'une force f extérieure au système fasse constamment équilibre à la force électrique F qui agit sur C. Si le mouvement de ce petit corps électrisé à travers les conducteurs ou les diélectriques ne donne lieu à aucune variation d'énergie chimique du système (ce qui exclut le passage d'une électrode à un électrolyte), s'il n'est en contact qu'avec des corps à la même température, il résulte des principes de la thermodynamique que le système n'a pu fournir du travail, quand C est

revenu à son point de départ; le travail de la force f ne peut donc être négatif, et par conséquent, celui de la force électrique F ne peut pas être positif. Or, si on fait décrire au corps électrisé C exactement le même chemin, mais en sens inverse, le travail de la force électrique F sera changé de signe et, comme pour la même raison que ci-dessus, ce nouveau travail ne peut pas être positif non plus, il en résulte que le travail de la force F est nécessairement nul.

Ainsi les forces électriques d'un champ en équilibre nous apparaissent avec ce caractère de donner un travail nul quand le corps électrisé auquel elles sont appliquées est revenu à son point de départ.

On voit par là que si le point électrisé C va d'un point A à un autre point B, le travail de la force électrique agissant sur C ne dépend pas du chemin employé pour aller de A à B, mais seulement de la position de ces deux points. D'ailleurs, ce travail w est proportionnel à la charge m du point C, puisqu'en chaque point P la force électrique est égale à $m\varphi$, en désignant par φ l'intensité du champ au point P. Il en résulte que le quotient $\frac{w}{m}$ ne dépend plus de la charge du petit corps électrisé C, mais seulement de la position des deux points A et B du champ. Pour définition $\frac{w}{m}$ représente l'*excès de potentiel* (positif ou négatif) du point A sur le point B.

Du fait que le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur homogène, on en conclut que tous les points de ce conducteur sont un même potentiel; c'est ce qui fait la grande importance de la nature du potentiel au point de vue expérimental.

Comme le champ électrique n'est pas forcément nul en tous les points à l'intérieur d'un conducteur hétérogène, cette conséquence n'est plus rigoureuse dans ce cas. En effet, l'expérience prouve que les deux pôles d'une pile, quoique reliés par divers conducteurs, présentent entre eux une différence de potentiel. On peut le voir en faisant communiquer les deux pôles extrêmes d'une pile de 100 à 200 éléments disposés en tension avec deux plateaux métalliques de même nature que ces pôles, par conséquent, formés d'un même métal, placés en regard l'un de l'autre à 2 ou 3 centimètres de distance : un champ électrique existe entre eux, qui peut être décelé par une feuille d'or électrisée, par exemple (électromètre de Hankel); en allant d'un plateau à l'autre, le champ a toujours le même sens, comme l'expérience le prouve et, par conséquent, la force électrique qui agit sur un petit corps électrisé allant d'un plateau à l'autre, accomplit un travail qui n'est pas nul : il existe une différence de potentiel entre les deux plateaux.

On conclut aisément de là : 1° que les deux pôles d'un seul élément (formés d'un même métal) présentent une différence de potentiel; 2° que les pôles extrêmes d'une pile de n éléments identiques associés en tension présentent une différence de potentiel n fois plus considérable que celle qui existe entre les pôles d'un seul élément.

Il est important d'établir ainsi expérimentalement et dès le début, ce point bien connu, parce qu'il permet ensuite d'établir comment un électromètre, l'électromètre à quadrants déjà décrit, par exemple, peut servir à mesurer les différences de potentiel entre deux conducteurs de même nature.

En outre, il donne une idée de l'extrême petitesse des différences de potentiel entre deux conducteurs de nature différente, ce qui permet de les négliger le plus souvent.

On déduit par les procédés connus les relations qui existent entre les composantes X, Y et Z du champ et les dérivées du potentiel par rapport aux coordonnés

$$\left(X = -\frac{dV}{dx} \quad Y = -\frac{dV}{dy} \quad Z = -\frac{dV}{dz}\right)$$

ainsi que la perpendicularité des lignes de force aux *surfaces équipotentielles.*

La *densité électrique superficielle* μ est

définie expérimentalement au moyen d'un plan d'épreuve d'étendue s et du cylindre de Faraday, qui en donne la charge m,

$$\left(\mu = \lim \frac{m}{s}\right).$$

La *densité électrique cubique* ρ, se définit aussi en supposant une petite portion du diélectrique électrisé de volume v porté dans le cylindre de Faraday pour mesurer sa charge m

$$\left(\rho = \lim. \frac{m}{v}\right).$$

La *tension électrique* τ est définie à la façon habituelle, c'est le rapport $\frac{f}{s}$ de la force électrique f qui agit normalement sur une étendue s de la surface d'un conducteur électrisé et qui tend à détacher cette portion du conducteur, à cette étendue s, ou, plus rigoureusement, c'est la limite de ce support, quand le périmètre de la surface considérée tend vers zéro

$$\left(\tau = \lim. \frac{f}{s}\right).$$

Pour établir les relations qui existent entre la densité superficielle et la tension, ainsi que les autres relations de l'électrostatique, j'ai eu besoin de m'appuyer sur trois principes, auxquels j'ai fait allusion plus haut, et que je vais énoncer maintenant.

Le principe de la *superposition des états électriques* est le suivant :

Considérons un système de conducteurs et de diélectriques invariable et soustrait à toute action électrique extérieure ; si divers états électriques successifs E_1 E_2 E_3, etc..., de ce système, donnent sur un même petit corps électrisé C, conservant toujours la même charge et placé au même point A du système, des forces f_1 f_2 f_3, etc., en plaçant en chaque point du système la somme algébrique des charges des états E_1 E_2 E_3, etc... (*états composants*) on obtient un état (*état de superposition*) tel qu'en A la force agissant sur C est la résultante des forces f_1 f_2 f_3, etc....

En particulier, il résulte de là que si l'on superpose n états identiques, les charges, les valeurs du champ et les différences de potentiel sont multipliés par n.

Ce principe est susceptible d'une vérification expérimentale directe (¹) ; il en est de même du suivant.

Le principe de la *déformation infiniment lente* consiste en ce qu'une déformation infiniment lente d'un système électrisé dans laquelle chaque partie homogène et à température uniforme des corps conducteurs conserve la même charge, ne peut ni créer ni détruire de chaleur, autrement dit, ne peut faire varier l'énergie calorifique du système.

Dans le cas des corps conducteurs, il n'y a aucun doute sur son exactitude ; car une déformation infiniment lente d'un conducteur dont chaque partie homogène conserve la même charge ne peut donner naissance qu'à des courants infiniment faibles créant par unité de temps des quantités de chaleur qui sont des infiniment petits du second ordre. Pour les diélectriques, la constance de leur charge ne permet guère de supposer qu'il y ait des phénomènes calorifiques dus à une transformation infiniment lente des charges qui les environnent, quoique les expériences ne soient pas encore faites à cet égard.

Ce principe a le plus souvent été admis implicitement dans les démonstrations d'électrostatique ; j'ai cru bon de l'expliciter pour pouvoir en discuter la valeur. J'en ai fait du reste un usage moins fréquent que des deux autres.

Contrairement aux deux précédents, le *principe de l'action de milieu* ne peut pas être vérifié directement par l'expérience ; mais il apparaît comme nécessaire si l'on considère les phénomènes électriques comme dus à des

(¹) On a toujours admis, dans les théories électrostatiques découlant de la loi de Coulomb, que la force exercée par les divers corps électrisés du champ sur un petit corps électrisé C est la résultante des forces qu'exerçerait chaque point électrisé du champ s'il existait seul. Au fond, ce n'est ni évident *a priori* ni vérifiable par l'expérience ; c'est pourquoi j'ai substitué à ce principe, celui énoncé dans le texte qui est susceptible d'une vérification expérimentale directe et qui conduit aux mêmes conséquences.

actions de milieu (de là le nom que je lui ai donné) et on ne saurait raisonnablement les considérer autrement.

Une grandeur électrique A (densité superficielle, densité cubique, tension, etc.) a une valeur qui ne peut dépendre que de la valeur du champ et de ses dérivés par rapport aux coordonnées au point où l'on considère la grandeur A ainsi que de la nature du milieu ou des milieux en ce point ou aux points immédiatement voisins. Si dans deux états électriques toutes ces grandeurs ou qualités sont les mêmes, on aura pour A la même valeur, quand même, loin du point où l'on considère la grandeur, les états électriques ou les milieux seraient tout différents.

J'ai fait une application continuelle de ce principe à la recherche des relations entre les grandeurs électriques, car, une relation étant établie dans un cas particulier simple, il permet de montrer que cette relation est générale.

Pour établir les relations dans des cas simples, j'ai fait un grand usage de conducteurs ou de diélectriques limités par des surfaces sphériques concentriques ou par des plans parallèles.

En m'appuyant sur les lois expérimentales précédemment exposées, sur les deux principes de la thermodynamique et sur les trois principes précédents, j'ai pu établir, par voie déductive, les relations de l'électrostatique. Le cadre restreint de cet article ne me permet pas de donner ces démonstrations [1]. Je me bornerai à indiquer ici l'ordre de ces déductions et les résultats.

La densité superficielle μ est proportionnelle à l'intensité ψ du champ considéré dans le diélectrique à la limite de la couche électrique qui recouvre le conducteur ($\psi = h\,\mu$).

La tension τ est proportionnelle au carré de la densité superficielle au point considéré du conducteur ($\tau = k\,\mu^2$).

[1] Le lecteur pourra les trouver dans le mémoire sur ce sujet qui va paraitre dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

Les coefficients h et k des deux relations précédentes sont liés pour un même diélectrique et pour des conducteurs de même nature par la relation

$$h = 2k$$

ce qui dispense de les conserver tous les deux; k seul est conservé ($\psi = 2k\mu$).

La densité cubique ρ est liée aux composants X, Y, Z, du champ et au potentiel par les relations

$$2k\rho = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = -\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right)$$

C'est la relation de Poisson. Il en résulte que le coefficient k, qui, d'après sa définition ($\tau = k\,\mu^2$) pouvait dépendre de la nature du conducteur, au point où l'on considère la tension τ, en est indépendant en réalité, et ne dépend que de la nature du diélectrique qu'il caractérise.

Il convient de faire maintenant un choix pour les unités des grandeurs électriques.

La tension $\tau = \lim. \frac{f}{s}$, ne dépendant que des unités géométriques et mécaniques (centimètre carré et dyne dans le système C. G. S.) a son unité définie par là même.

La densité superficielle μ étant liée à la tension τ par la relation $\tau = k\mu^2$ a son unité définie si l'on assigne à k une valeur déterminée dans le cas où le diélectrique considéré est le vide. Le plus simple serait de faire $k = 1$; mais pour donner aux relations la forme à laquelle nous sommes habitués, c'est-à-dire pour prendre les unités communément employées, je poserai dans le cas du vide.

$$k = 2\pi$$

d'où

$$\tau = 2\pi\mu^2$$

L'unité de densité superficielle étant ainsi fixée, la relation $\mu = \lim \frac{m}{s}$ ($\mu = \frac{m}{s}$ dans le cas d'une densité uniforme) fixe immédiatement l'unité de quantité d'électricité; c'est

la quantité qui se trouve sur un centimètre carré de la surface d'un conducteur qui possède l'unité de densité superficielle.

Les définitions des autres grandeurs, densité cubique, champ, potentiel déterminent ensuite immédiatement leur unité, d'après l'unité d'électricité ainsi fixée.

Pour une même valeur de la densité superficielle μ, la tension n'a pas la même valeur suivant que le vide ou un autre diélectrique entoure le conducteur; en désignant par τ' et τ les deux valeurs de la tension on a

$$\tau' = 2\pi\mu^2 \qquad \tau = k\mu^2$$

d'où

$$K = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{2\pi}{k}$$

C'est ce rapport K constant pour un même diélectrique qui, par définition, est le *pouvoir inducteur spécifique* du diélectrique, ou sa *constante diélectrique* (cette définition revient à la définition habituelle fondée sur la considération des capacités comme il est montré plus loin). En introduisant K au lieu de *k* dans les relations déjà établies, celles-ci prennent les formes connues.

$$\tau = \frac{2\pi\mu^2}{K} \qquad \psi = \frac{4\pi\mu}{K}$$

$$\frac{4\pi\rho}{K} = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = -\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right)$$

On a alors à sa disposition les connaissances nécessaires pour établir la théorie de l'électromètre absolu de lord Kelvin qui permet de mesurer en valeur absolue les différences de potentiel. La raréfaction de l'air dans cet appareil ne faisant pas changer d'une façon appréciable les résultats, on en conclut que pour l'air on a sensiblement $K = 1$ comme pour le vide.

On est aussi à même de calculer la densité superficielle vers le milieu de deux plateaux métalliques parallèles très larges vis-à-vis de leur distance, possédant une différence de potentiel déterminée. La mesure en valeur absolue de celle-ci et de la distance des plateaux placés dans l'air fait connaître cette densité superficielle en valeur absolue. Un plan d'épreuve de surface connue appliqué vers le milieu d'un de ces plateaux emporte ainsi une quantité d'électricité connue, qui permet de graduer en valeur absolue, l'appareil qui a été désigné sous le nom de *cylindre de Faraday*, et qui sert à mesurer les quantités d'électricité.

Pour aller plus loin, il convient de donner la définition du *flux d'induction* à la façon ordinaire ($j = K\int \varphi \cos\omega \, ds$; φ; intensité du champ, sur l'élément de surface ds dont la normale fait l'angle ω avec la direction du champ).

L'application du théorème de Green, ou une autre démonstration plus simple, permet d'établir le théorème de Gauss :

« Le flux d'induction à travers une surface fermée renfermant un diélectrique homogène est égale à la quantité d'électricité contenue à l'intérieur de la surface multipliée par 4π. »

De ce théorème découlent comme corollaires les propriétés suivantes des tubes de force :

« Quand un tube de force ne contient à son intérieur qu'un diélectrique non électrisé, le flux d'induction à travers une de ses sections quelconques a toujours la même valeur. »

« Sur une ligne de force d'un pareil tube, le sens du champ est toujours le même, et parconséquent, le potentiel varie toujours dans le même sens. »

Il est établi ensuite que de part et d'autre de la surface de séparation des deux diélectriques (1 et 2), les composantes normales ($\varphi_1 \cos\alpha_1$ et $\varphi_2 \cos\alpha_2$) du champ dans chacun des deux milieux sont liées par la relation

$$K_1 \varphi_1 \cos\alpha_1 = K_2 \varphi_2 \cos\alpha_2$$

K_1 et K_2 étant respectivement les pouvoirs inducteurs spécifiques des deux diélectriques, et que les composantes tangentielles du champ ($\varphi_1 \sin\alpha_1$ et $\varphi_2 \sin\alpha_2$) sont égales

$$\varphi_1 \sin\alpha_1 = \varphi_2 \sin\alpha_2$$

et ont même direction et même sens.

Il en résulte que la ligne de force en tra-

versant la surface de séparation, se brise, en restant dans un même plan normal à la surface (*plan d'incidence*) et que les angles α_1 et α_2 que font les directions des deux parties de la ligne de force avec la normale à la surface, sont données par

$$\frac{\operatorname{tang} \alpha_1}{K_1} = \frac{\operatorname{tang} \alpha_2}{K_2}$$

D'après la première de ces trois relations, le flux d'induction ne change pas de valeur en traversant la surface de séparation de deux diélectriques. Cette propriété montre immédiatement que le théorème de Gauss établi plus haut dans le cas d'un diélectrique homogène est également exact dans le cas d'un diélectrique hétérogène. Il en est donc de même de ses corollaires sur la propriété des tubes et des lignes de force dans un milieu non électrisé.

Enfin, cette généralisation des théorèmes de Gauss, permet de généraliser le théorème de Poisson, et de montrer que, dans le cas d'un diélectrique hétérogène la relation de Poisson devient :

$$4 \pi \rho = \frac{\partial (KX)}{\partial x} + \frac{\partial (KY)}{\partial y} + \frac{\partial (KZ)}{\partial z}$$

Quelles sont les conditions pour qu'une fonction des coordonnées représente le potentiel aux divers points du milieu diélectrique, dans des conditions données ? J'établis qu'il faut et il suffit que la fonction U des coordonnées satisfasse aux quatre conditions suivantes : 1° qu'elle soit continue dans tout l'espace occupé par le diélectrique ; 2° qu'elle prenne sur la surface des conducteurs et sur la surface matérielle ou idéale qui limite le milieu considéré, les valeurs assignées au potentiel ; 3° qu'en traversant la surface de séparation de deux diélectriques (1 et 2) ses dérivées par rapport à la normale n à cette surface et celles par rapport à une direction quelconque S, prise dans le plan tangent à la surface, obéissent aux deux relations

$$K_1 \left(\frac{\partial U}{\partial n}\right)_1 = K_2 \left(\frac{\partial U}{\partial n}\right)_2 \quad \text{et} \quad \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_1 = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_2$$

4° si le milieu diélectrique n'est pas électrisé (seul cas que j'ai considéré), que la *laplacienne*

$$\Delta \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$$

de cette fonction soit nulle partout.

Ce théorème important permet, quand on soupçonne la forme de la fonction qui représente le potentiel, de s'assurer que cette forme est exacte et, par là, de trouver toutes les propriétés du champ électrique (densité superficielle, tension, etc.).

J'en ai donné un exemple qui est utile pour la suite, mais qu'il serait trop long d'exposer ici.

Un autre théorème, souvent invoqué, dont je donne ensuite la démonstration, est le suivant :

« Dans des conditions déterminées de potentiel pour les conducteurs et de charge électrique pour les diélectriques, il n'y a qu'un seul état d'équilibre possible. »

C'est alors que j'arrive à la notion *d'énergie électrique ;* son expression bien connue $\frac{1}{2} \Sigma MV$ est obtenue par la démonstration donnée par MM. Bichat et Blondlot (*Introduction à l'Electricité statique*, p. 79).

La notion de *capacité électrique* est présentée dans le cas d'un conducteur placé seul à l'intérieur d'une enceinte conductrice fermée (qui peut être constituée dans la pratique par les murs de la pièce où l'on opère), le milieu diélectrique interposé n'étant pas électrisé. Ce n'est que dans ce cas que la charge M du conducteur est proportionnelle à son excès de potentiel V sur l'enceinte ($M = CV$), et que la capacité C est bien définie.

Il est établi ensuite que la capacité pour une même forme du système conducteur et de son enceinte conductrice est proportionnelle au pouvoir inducteur spécifique du diélectrique homogène interposé.

Les propriétés des condensateurs et le calcul de la capacité électrique dans quelques cas simples suivent naturellement.

La fin du Mémoire, relative aux forces qui se

produisent à la surface de séparation de deux diélectriques, sera exposée avec plus de détail.

(*A suivre.*)

H. PELLAT,
Professeur-adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

MAGNÉTISME ET RÉACTIONS CHIMIQUES

FORCE ÉLECTROMOTRICE D'AIMANTATION [1]

III

RELATION ENTRE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE ET L'ÉTAT MAGNÉTIQUE DU SYSTÈME

On peut obtenir l'expression de cette force électromotrice, d'une manière approchée au moins, par l'application du principe de la conservation de l'énergie et avec certaines restrictions.

Soit notre système (fig. 3) composé de deux

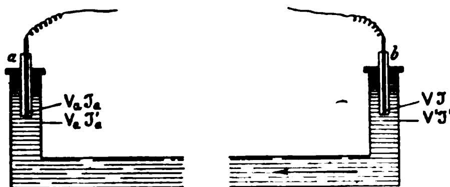


Fig. 3. — Pile fer. — Fer aimanté.

électrodes *a* et *b* en fer doux plongées dans un liquide capable de les attaquer. Si l'on introduit entre ces deux électrodes une différence d'aimantation, il se produit une force électromotrice et le courant qui prend naissance va, par exemple, de *b* vers *a* dans l'intérieur de cette pile. Soient maintenant, V_a, I_a le potentiel et l'intensité d'aimantation sur l'électrode *a*,

V'_a, I'_a ces valeurs dans le liquide près de *a*,
V', I' — — dans le liquide près de *b*,
V, I — — sur l'électrode *b*.

Ces quantités sont constantes autour des points considérés.

Pour une quantité d'électricité dq qui passe, il y a une quantité de fer $I dq$ dissoute en *b* et une autre $I_a dq$ déposée en *a*. Si on néglige les variations d'intensité d'aimantation par le déplacement de ce volume de fer, la variation totale d'énergie magnétique est :

$$\frac{I^2}{2k} dv' - \frac{I^2}{2k} dv + \frac{I_a^2}{2k_a} dv_a - \frac{I'^2_a}{2k_a} dv'_a$$

k, k'... est la valeur respective de la susceptibilité magnétique, — une fonction de l'intensité d'aimantation ; — ici l'on prend une valeur moyenne entre celles comprises entre $I = 0$ et I. Cette énergie doit se retrouver sous forme de travail électrique, de travail mécanique, comme aussi de toute autre modification qui se produirait dans le système considéré.

Le travail électrique est

$$(V - V' + V'_a - V_a)\, dq$$

Pour le travail mécanique, on sait que les corps magnétiques soumis à l'aimantation éprouvent des déformations mécaniques, et certains effets calorifiques, on aura donc à ajouter

$$T = \int_{v_a}^{v'} T\, dv$$

plus la variation d'une certaine fonction qui dépend de l'état chimique et physique du système.

$$F_1 (a, b, c) - F_0 (a, b, c)$$

Donc l'équation complète sera

$$\frac{I'^2}{2k'} dv' - \frac{I^2}{2k} dv + \frac{I_a^2}{2k_a} dv_a - \frac{I_a'^2}{2k'_a} dv_a = (V - V' + V'_a - V_a)\, dq + \int_{v_a}^{v'} T\, dv + [F_1 (a, b, c...) - F_1 (a, b, c..)];$$

elle se simplifie de la manière suivante : comme l'électrode *b* est en dehors du champ magnétique,

$$I = I' = 0$$

et en posant que la force électromotrice,

$$E = (V - V' + V'_a - V_a)$$

il reste

$$\frac{I^2_a}{2k_a} dv_a - \frac{I_a'^2}{2k'_a} dv'_a = E dq + \int_{v}^{v'} T\, dv + [F_1 (a, b, c...) - F_0 (a, b, c...)]$$

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 9 février 1895.

en remplaçant

$$dv \text{ par } \frac{l\,dq}{\delta}$$

et

$$dv' - \frac{l'\,dq}{\delta}$$

on a

$$\frac{I^2_a}{2k_a}\frac{l\,dq}{\delta} - \frac{I^2_a}{2k'_a}\frac{l'dq}{\delta'} - \mathrm{E}\,dq + \int_{v_2}^{v} \mathrm{T}\,dv + [\mathrm{F}_1(a, b, c\ldots) - \mathrm{F}_0(a, b, c\ldots)]$$

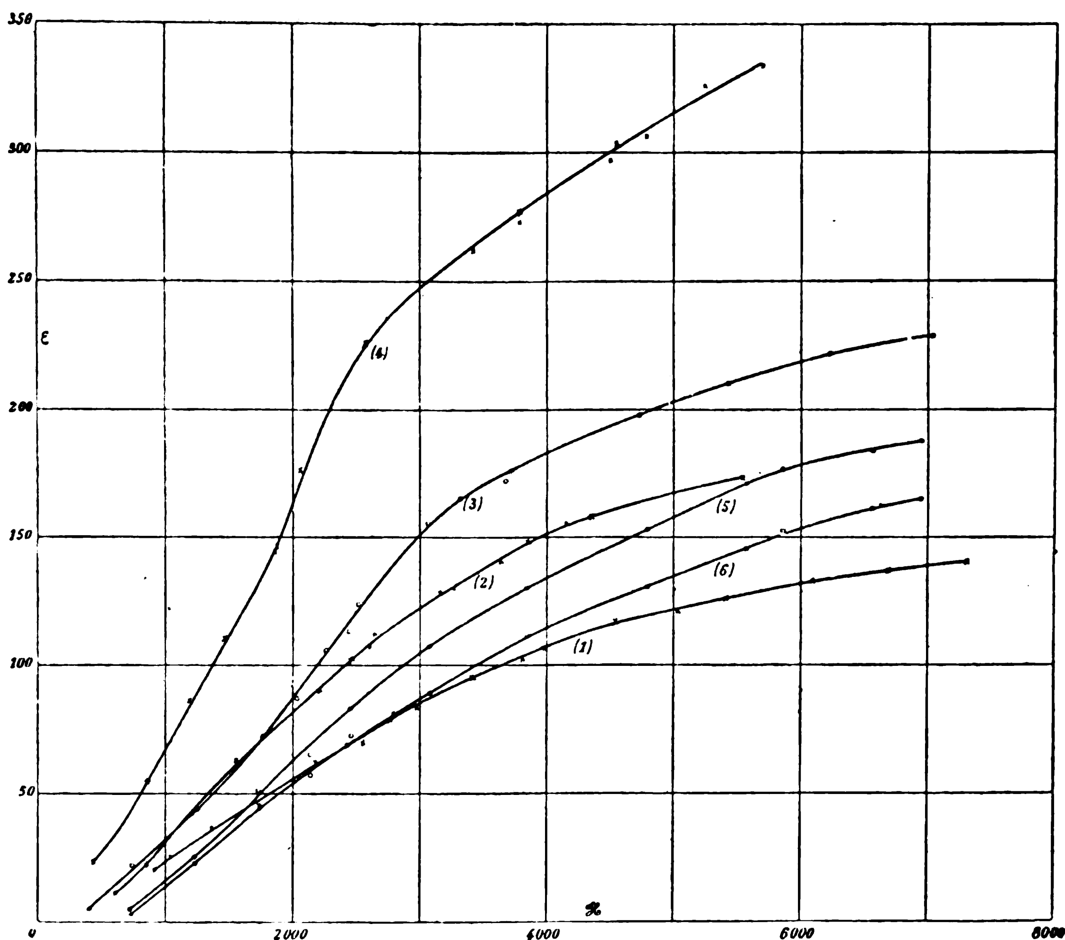


Fig. 4. — Bourbes représentant la variation de la force électromotrice avec l'aimantation.

T étant une certaine tension élastique du corps isotrope ; δ' et δ, les poids spécifiques du fer avant et après l'aimantation, l et l', les équivalents électrochimiques avant et après l'aimantation.

On est en droit de se demander si cette force électromotrice d'aimantation prend naissance en même temps et indépendamment des modifications représentées par les deuxième et troisième termes du second membre de l'équation précédente? — Dans ce cas, la distribution électrique sur un corps magnétique doit être fonction de l'intensité d'aimantation.

On peut encore expliquer les choses d'une autre manière, qui serait peut-être plus en accord avec les idées qu'on se fait généralement sur le magnétisme. Ainsi, on peut considérer que, dans des corps magnétiques, l'aimantation introduit des modifications physiques, chimiques et autres, et que les déformations mécaniques, comme aussi la force électromotrice d'aimantation, ne sont que la conséquence de ces modifications.

Dans la première hypothèse, et pour sim-

plifier la formule, on suppose que le fer dissous en *b* se dépose en *a* dans le même état et que, de plus, la déformation est faible ; il reste alors

$$(e) \qquad E = \frac{l}{2\delta}\left(\frac{I^2}{k} - \frac{I'^2}{k'}\right)$$

en supprimant les indices dans l'équation précédente.

Cette quantité est positive, donc le courant va, dans le circuit extérieur, du fer aimanté vers le fer non aimanté, et le fer aimanté est moins attaqué par l'acide.

Dans la seconde hypothèse, on a l'équation

$$(e') \qquad E = \frac{I^2}{2k}\frac{l}{\delta} - \frac{I'^2}{2k'}\frac{l'}{\delta}$$

si l'on suppose que l'énergie électrique est proportionnelle aux modifications physiques, ou autres.

Dans cette hypothèse, l et l' sont variables avec I.

Par quelques expériences d'essai que j'ai faites, je crois avoir constaté une contraction de volume des sels magnétiques en dissolution aqueuse dans les champs magnétiques puissants. Nous reviendrons sur toutes ces vérifications expérimentales dans un autre travail.

Si l et δ varient dans le même sens avec l'état magnétique du système, les formules (e) et (e') ne diffèrent pas quant au sens.

Si on remarque que le sel de fer formé est très peu magnétique, l'expression (e) peut devenir, dans certains cas seulement, comme nous le verrons par la suite,

$$(e_1) \qquad E = \frac{l}{2\delta}\frac{I^2}{k}$$

pour les cas où k = constante — corps peu magnétiques, faible aimantation — la courbe représentative est une parabole.

Tandis que pour le fer, cette courbe est beaucoup plus compliquée ; elle est au moins du troisième degré.

IV

RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Voici maintenant, parmi de nombreuses mesures qu'on a prises sur les différents échantillons des métaux magnétiques déjà nommés, les quelques résultats qui donnent les parties essentielles de ces phénomènes.

Considérons d'abord le cas où l'électrode est disposée normalement au champ magnétique :

Fer. — Dans toutes ces expériences, l'électrode aimantée était positive par rapport à celle non aimantée.

La force électromotrice d'aimantation est indépendante du sens du champ magnétique, elle est aussi indépendante de l'acide employé comme aussi de son état de concentration.

Les valeurs de cette force électromotrice exprimées en dix-millièmes de volt, pour les différentes valeurs du champ magnétique en unités C. G. S., sont fournies par les expériences suivantes :

1° Un système formé de deux électrodes Wollaston en fil de fer de 0,05 cm. de diamètre, plongées dans une dissolution très faible d'acide acétique et monté depuis la veille m'a donné, le 30 mai 1894 :

$E = 10^{-4} v$	H	
20	916	
25	1039	
36	1378	
45	1733	
55	2036	
62	2183	
69	2556	
79	2772	
83	2981	
95	3422	courbe (1)
102	3812	
106	3985	
117	4548	
121	5041	
126	5414	
133	6105	
137	6697	
140	7320	
80	2785	

On voit par la dernière mesure, 80 correspondant à 2785, que le système de cette pile n'a pas changé pendant la durée de l'expérience.

Si l'on prend en axes rectangulaires : les valeurs de H en abscisses et celles correspondantes de E en ordonnées, on a la courbe (1)

qui représente les valeurs de la force électromotrice d'aimantation en fonction du champ magnétique.

Cette courbe rappelle un peu, par sa forme générale, la courbe d'aimantation sans pourtant présenter un point d'inflexion comme une partie de ces courbes.

2° *Expérience du 2 juin 1894.* Le système était formé depuis le matin ; on a exécuté les mesures le soir :

L'électrode en fil de fer de 0,07 cm. de diamètre était placée dans l'acide oxalique en solution étendue.

E	H	
11	602	
22	866	
60	1540	
63	1559	
90	2209	
107	2612	
112	2642	
128	3162	courbe (2)
140	3638	
148	3855	
156	4158	
158	4358	
173	5548	

Cette courbe (2) semble avoir une inflexion vers H = 2200.

3° Mais à côté de cela nous avons beaucoup de ces courbes qui présentent franchement un point d'inflexion ; ainsi, comme exemple, nous allons donner les courbes (3) et (4).

La courbe (3) a été obtenue le 30 juin 1894 avec une pile montée depuis la veille et formée de deux électrodes à la Wollaston en fil de fer de 0,08 cm. de diamètre et de l'acide acétique en dissolution étendue.

Avec ces électrodes, on a répété plusieurs séries d'expériences avec des acides différents et après un grand intervalle de temps entre les différentes expériences.

Les valeurs trouvées sont données par la courbe (3)

E	H	
5	397	
22	739	
44	1263	
72	1781	
87	2038	
106	2268	
113	2452	
124	2512	courbe (3)
155	3068	
165	3321	
172	3682	
176	3718	
196	4729	
210	5436	
222	6240	
229	7042	

Ici l'on voit sur la courbe le point d'inflexion pour

H = 2400 à peu près.

La courbe (4) est obtenue avec des électrodes en fer à la Wollaston de 0,09 de diamètre plongées dans de l'eau distillée qui contenait des traces d'acide acétique. Dans cette expérience du 8 juin on a commencé par les champs les plus forts.

E	H
334	5700
326	5244
306	4788
297	4492
273	3785
262	3420
243	2782
226	2581
176	2076
146	1892
144	1870
110	1471
86	1200
55	866
23	443

Son point d'inflexion se dessine vers la valeur de H = 2200.

Dans certaines expériences la force électromotrice obtenue par l'aimantation de l'électrode, après avoir passé par un maximum, descendait tout doucement pour se fixer à une valeur plus petite ; dans ce cas on pouvait construire la courbe des forces électromotrices en fonction du champ magnétique en prenant l'une ou l'autre de ces deux valeurs. L'allure de la courbe est la même dans les deux cas, comme on voit dans les courbes (5) et (6).

4° *Expérience du 17 juillet.* Un système formé de deux électrodes à la Wollaston en fil de fer de 0,06 de diamètre et plongées dans une faible dissolution d'acide oxalique.

La courbe (5) est obtenue en prenant les forces électromotrices maxima ; la courbe (6) les forces électromotrices constantes.

(5) E_m	(6) E_c	H
188	165	6953
184	161	6568
177	152	5871
171	145	5582
153	130	4804
130	111	3849
107	89	3080
83	73	2454
65	57	2141
51	45	1732
25	23	1227
5	4	732

Cette diminution $E_m - E_c$ de la force électromotrice tenait probablement à une modification de l'état de la surface de l'électrode ou peut-être à la présence des corps étrangers, comme les bulles de gaz par exemple. Mais, ce qui est certain, c'est que l'état initial du système se trouvait changé, et que le point origine, d'où on comptait les forces électromotrices, était déplacé. En effet, lorsqu'on supprimait le champ magnétique, l'électromètre passait par zéro sans s'y arrêter et prenait une valeur négative d'autant plus grande que $E_m - E_c$ était plus grand ; ce n'était qu'au bout d'un certain temps qu'il revenait doucement à zéro.

A l'inspection de ces courbes on voit que leur allure générale, tout en dépendant de la nature du fer employé, est la même. La force électromotrice croît d'abord beaucoup plus vite que le champ magnétique jusqu'à une certaine valeur, après quoi, elle croît moins vite.

Les champs magnétiques obtenus ne m'ont pas permis de voir si la valeur de E passe par un maximum ou tend asymptotiquement vers une valeur constante.

Il aurait été intéressant de pousser plus loin ces mesures afin de pouvoir en comparer les résultats avec un autre phénomène du même genre, avec les effets mécaniques de l'aimantation. On sait en effet, qu'une barre de fer mise dans un champ magnétique s'allonge suivant les lignes de force. M. Berget [1] trouve que cet allongement tend vers une valeur constante quand l'intensité du champ magnétique augmente, tandis que M. Sh. Bidwell [2] et dernièrement M. Nagaoka [3], ont trouvé que cet allongement passe par un maximum et même devient négatif lorsque le champ magnétique dépasse une certaine valeur.

Les champs magnétiques que nous avons employés avaient des valeurs assez notables, comme on l'a vu dans les tableaux ci-dessus ; seulement, étant donné que la force démagnétisante était assez grande, l'intensité d'aimantation n'avait pas une forte valeur.

On peut s'en rendre compte par le calcul approché suivant : Si on considère que les fils employés étaient des cylindres indéfinis et normaux à la direction du champ magnétique, dans un tel cylindre, la force démagnétisante dans un point quelconque de son intérieur a une valeur constante $-2\pi I$.

D'un autre côté, dans les corps magnétiques isotropes on admet que l'intensité d'aimantation est égale à la résultante de toutes les forces magnétiques qui agissent sur ce point multipliée par k.

$$I = k(H - 2\pi I)$$

d'où

$$I = \frac{k}{1 + 2\pi k} H$$

D'après les expériences de M. Rowland, k varie depuis 39, pour les plus faibles champs, passe par un maximum de 200 et arrive, pour des champs très forts, à une valeur constante 8.

En prenant $k = 40$, pour des champs croissants, on a

$$I = \frac{1}{\frac{1}{40} + 2\pi} H$$

(1) Berget. *Journ. de Physique.*
(2) Bidwell. *Proc. Royal. Soc.*, t. LV, 1894.
(3) Nagaoka. *Wiedemann. Anal. der Chem.*, *1894.*

ou en négligeant $\frac{1}{40}$

$$I = \frac{1}{2\pi} H$$

Les plus forts champs que nous avons obtenus sont de 7.000 unités C. G. S. donc pour cette valeur,

$$I = 1113$$

D'après Ewing, l'intensité d'aimantation maxima pour le fer doux serait 1.500 à 2.000 unités.

Seulement, dans notre cas, la force démagnétisante est plus grande que celle que nous avons considérée, car les fils ne sont pas cylindriques, étant donné qu'on les a chauffés au rouge pour souder le verre autour, que l'électrode est de longueur finie et que l'orientation peut ne pas être exactement normale au champ. Par conséquent, la valeur de I pour la plus forte valeur de H employée est encore plus petite que 1.113.

A part les différences spécifiques des divers échantillons de fer employés, on observe que la courbe est d'autant plus relevée que le diamètre de l'électrode elle-même est plus grand. Cela fait penser que ces écarts tiennent à ce que la capacité de l'électromètre n'est pas négligeable devant la capacité de l'électrode employée.

Mais ceci ne change en rien la forme de cette courbe.

Toutes ces courbes obtenues satisfont, au moins d'une manière qualitative, à l'équation simplifiée :

$$(e_1) \qquad E = \frac{l}{2\delta} \frac{I^2}{k}$$

Analytiquement il est impossible de déterminer la forme de cette courbe, car on ne connaît pas assez bien $k = f(I)$. Les expériences sur k ont appris que cette fonction croît rapidement, passe par un maximum, décroît ensuite et tend vers une valeur constante lorsque H est assez grand.

On peut pourtant s'en rendre compte de la manière suivante : on construit la courbe d'aimantation, on prend le carré respectif de chaque valeur et on construit une autre courbe (I^2). Tenant compte des valeurs de k, la courbe (E) doit être, pour les faibles champs magnétiques, au-dessous de E et pour des champs plus forts au-dessus. Les deux courbes doivent se couper pour k maximum. Ceci est donné à titre d'exemple, car les deux courbes peuvent ne pas avoir de valeurs voisines.

Nickel. — Avec deux électrodes à la Wollaston en fil de nickel plongées dans une dissolution très étendue d'acide oxalique ou d'acide acétique et dont une était aimantée normalement à son axe, la force électromotrice en fonction du champ magnétique a le même sens et est représentée par une courbe semblable à celle obtenue dans le cas du fer. Elle ne présente pas de point d'inflexion et, comme grandeur, elle est de l'ordre du millième de volt pour les champs magnétiques moyens employés.

Bismuth. — Le même dispositif que précédemment. La force électromotrice est bien plus petite ; ainsi pour les plus forts champs magnétiques obtenus elle n'atteint que quelques dix-millièmes de volt.

Mais elle a un sens contraire à celle obtenue avec le fer et le nickel, c'est-à-dire que l'électrode aimantée devient négative par rapport à celle non aimantée ; donc le bismuth aimanté est plus attaquable par un acide que le bismuth non aimanté.

V

Considérons maintenant le second cas, c'est-à-dire lorsque l'électrode à aimanter prend contact avec le liquide par une partie de sa surface qui a une densité magnétique superficielle due à l'induction du champ. C'est le cas de l'électrode à la Wollaston employée déjà, mais disposée dans le champ magnétique suivant les lignes de force.

Ici nous allons considérer deux cas limites :

1° Le liquide employé, dès le commencement ou par suite de la réaction chimique, est riche en sel de fer ou du corps magnétique employé.

2° Le liquide ne contient pas de trace d'un sel de fer (ou du corps magnétique) quelconque.

Dans le premier cas, la force électromotrice d'aimantation est toujours telle que l'électrode qui se trouve dans le champ magnétique est négative par rapport à l'autre qui est en dehors du champ. Cela a fait dire à certains expérimentateurs que le fer devient négatif par aimantation. Nous allons voir que cette interprétation provient de ce qu'on ne considérait qu'une partie du système en présence et qu'on n'évaluait pas dans le vrai sens son état magnétique.

Dans le second cas la force électromotrice d'aimantation est plus petite, même tout près de zéro, mais l'électrode qui se trouve dans le champ magnétique est positive.

Entre ces deux cas on peut obtenir tantôt l'une, tantôt l'autre, de ces deux forces électromotrices.

Voilà quelques exemples parmi les expériences qualitatives qui ont été faites pour bien fixer le sens de cette force électromotrice et pour dissiper toute confusion.

Un système — fer à la Wollaston et sulfate de fer — dont le liquide est riche en sel de fer.

a) L'électrode normale au champ magnétique :

E	H
+ 108	4610

b) Le même système sans modification, si on dispose l'électrode suivant le champ magnétique :

— 32	4610

On voit donc que la force électrique a changé de signe.

Mais pour que l'intensité d'aimantation dans l'électrode soit exactement la même dans les deux cas nous allons considérer des électrodes formées de fil de fer couvert d'une couche de diélectrine partout sauf une petite portion de sa surface latérale. L'électrode étant normale au champ magnétique, on peut orienter la normale à cette surface suivant les lignes de force du champ ou à 90 degrés de cette position, par une simple rotation.

Avec un système fer-acide oxalique très étendu (expérience du 24 mai) dont l'électrode aimantée est découverte dans les deux parties a' a, et disposée suivant la direction du champ magnétique (fig. 5) on a :

E	H
19	5320.

Sans rien toucher au reste, on fait tourner l'électrode de 90 degrés (fig. 6) autour de son axe et on a :

114	5320.

Si on met dans le liquide du sulfate de fer ou un sel de fer quelconque, cette dernière

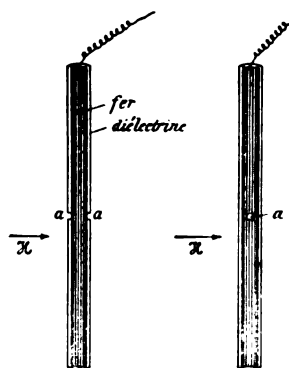


Fig. 5. Fig. 6.

mesure ne change pas, mais la première devient

— 27	5320 ;

donc la force électromotrice change de signe par la présence d'un sel de fer ; la surface de contact étant sur un des pôles formés.

Cette dernière expérience semble, à première vue, indiquer que le fer aimanté devient négatif, si on néglige de faire entrer en ligne de compte l'état magnétique du liquide et si on considère que l'intensité d'aimantation a une valeur appréciable sur la surface de séparation de l'électrode en fer, ce qui n'est pas exact.

En effet, lorsque l'électrode à aimanter est disposée suivant les lignes de force du champ magnétique et qu'elle prend contact avec le liquide par son extrémité, sur cette surface même de séparation, à cause de la force dé-

magnétisante, l'intensité a une valeur nulle ou dans tous les cas très petite; tandis que dans le liquide, tout près de cette électrode, l'intensité peut avoir une valeur plus grande ou au moins satisfaisant à la condition suivante :

Prenons l'expression de la force électromotrice donnée par la formule (e') dans laquelle nous supposons que l et δ varient dans le même sens tel que

$$\frac{l}{\delta} = \frac{l'}{\delta'}$$

alors cette formule devient

$$E = \frac{l}{2\delta}\left(\frac{I^2}{k} - \frac{I'^2}{k'}\right)$$

Pour que cette valeur E puisse changer de signe, il faut au moins que

$$\frac{I'^2}{k'} > \frac{I^2}{k}$$

et ce serait justement le cas dans cette dernière expérience.

Pour une série d'expériences on a employé, pour avoir un liquide exempt de sel de fer, des électrodes en fil de fer galvanisé ou étamé.

Avec cette électrode, qu'elle fût normale ou parallèle au champ magnétique, elle devenait toujours positive par aimantation.

L'électrode en fil de fer étamé ou galvanisé partout était enduite à chaud de diélectrine, sauf à un de ses bouts où une petite portion centrale était laissée à nu pour prendre contact électrique avec le liquide.

Lorsque cette électrode, disposée suivant le champ magnétique, était plongée dans un sel de fer, elle devenait toujours négative par aimantation.

On n'obtenait rien du tout si la couche de zinc ou d'étain sur l'électrode n'était pas suffisamment mince.

VI

CONCLUSION

Lorsqu'entre deux électrodes, aussi semblables que possible, formées d'une même substance magnétique et plongées dans un liquide susceptible de les attaquer, on introduit une différence d'aimantation, il se produit une force électromotrice.

Si par la disposition expérimentale, on s'arrange de manière à négliger l'état magnétique du liquide devant celui de l'électrode, la force électromotrice d'aimantation obtenue est telle que l'électrode aimantée est positive par rapport à celle non aimantée pour le fer et le nickel, et négative pour le bismuth.

La relation trouvée expérimentalement entre la force électromotrice et le champ magnétique se traduit graphiquement par une courbe qui a une certaine parenté avec la courbe d'aimantation. Elle satisferait à la formule (e_1) si on connaissait les variations de la susceptibilité magnétique par rapport au champ magnétique.

Dans le cas général, lorsqu'on a à considérer aussi l'état magnétique du liquide, le signe de cette force électromotrice est donné par la formule :

$$(e'_1) \qquad E = \frac{l}{2\delta}\left(\frac{I^2}{k} - \frac{I'^2}{k'}\right)$$

D. HURMUZESCU.
Attaché au laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne.

LES

CANALISATIONS ÉLECTRIQUES DE PARIS [1]

Dans trois articles précédents, on a indiqué les systèmes de canalisation que l'expérience à Paris avait peu à peu conduit à écarter, savoir :

1° Emploi de conduites métalliques avec de simples câbles recouverts et sans précautions particulières;

2° Caniveaux en poterie;

3° Câbles recouverts posés sur des crochets en fer.

Depuis la rédaction de ces articles, un nouvel accident survenu à Londres le 29 décem-

[1] Voir l'*Eclairage électrique*, n° 14 (15 décembre 1894), n° 3 (19 janvier 1895).

bre 1894 [1] est venu confirmer ce qui a été dit au sujet des conduites métalliques : dans un trou d'homme rempli de gaz, une explosion s'est produite dans Euston road, près de Endsleigh gardens; on attribue cette explosion à la production d'une étincelle dont la cause est encore inconnue. Deux personnes ont été grièvement blessées; le pavage de la chaussée a été violemment arraché. C'est le second accident du même genre survenu en 1894 dans ce quartier et l'opinion publique s'est émue.

Les accidents de cette espèce ont été nombreux à Londres; avant celui qui est signalé ci-dessus, un autre s'était produit le 10 novembre 1894 à Cannon street où un cheval avait été tué sur le coup.

Il importe, dans l'intérêt du développement de l'industrie électrique, d'apporter les soins les plus minutieux à l'établissement des canalisations pour éviter des accidents dont les conséquences peuvent être graves dans une grande ville et qui, dans tous les cas, y causent une émotion, souvent excessive, il est vrai, mais bien faite pour jeter un discrédit immérité sur les installations électriques en général.

Il peut être utile de compléter ces renseignements sommaires par une récapitulation des systèmes aujourd'hui employés à Paris.

Actuellement on ne compte plus à Paris que trois systèmes de canalisations, savoir :

1° Câbles nus, dans des conduites en béton de ciment, dites caniveaux;

2° Câbles recouverts, placés dans des conduites souterraines, soit en béton de ciment, soit en métal;

3° Câbles armés.

Au point de vue de l'importance du développement successif, c'est ce dernier système qui l'emporte sur les autres. Certaines canalisations, primitivement établies en câbles nus, ont été remplacées par des câbles armés.

Au 1er janvier 1895, la situation générale des canalisations à Paris peut se résumer, comme on l'indique dans les tableaux suivants où on a arrondi les chiffres et où on s'est contenté de désigner les secteurs par des lettres.

Les longueurs portées sont celles de la canalisation, c'est-à-dire la moitié de la longueur des conducteurs dans une distribution à 2 fils, le tiers dans une distribution à 3 fils, etc.

Dans les canalisations en caniveaux, souvent dans le même caniveau il y a simultanément des feeders et des distributeurs; on a détaillé séparément les longueurs de canalisations en feeders et en distributeurs.

On peut tirer diverses conclusions des tableaux ci-après; nous nous bornerons à faire remarquer que tous les secteurs à Paris, les uns en partie, les autres exclusivement, font usage de câbles armés.

Ce système de canalisation offre en effet de précieux avantages dans les grandes villes où l'on trouve souvent des trottoirs étroits, déjà encombrés par d'autres canalisations souterraines, notamment par des conduites de gaz. Les caniveaux en béton de ciment nécessitent une certaine place, tandis que les câbles armés ne causent à ce point de vue aucune gêne.

En outre, leur pose est rapide, tandis que l'établissement des caniveaux en béton nécessite un séchage de quelques jours, ce qui augmente la durée des embarras, causés à la circulation.

Enfin, avec l'emploi des câbles armés, on ne crée pas de vides sous la voie publique et, par suite, on n'a pas à craindre la présence de chambres, remplies d'un mélange détonant d'air et de gaz. Or, avec les caniveaux en béton ou les conduites métalliques qui constituent un véritable drainage, ces accidents sont à craindre, comme l'ont prouvé de nombreux accidents, surtout à l'étranger. On ne peut prévenir ces accidents que grâce à une ventilation des conduites souterraines particulièrement bien surveillée, comme les secteurs de Paris ont actuellement soin de le faire.

Il convient de rappeler aussi, qu'aujourd'hui les canalisations en câbles armés sont plus économiques que celles du système en caniveau. Dans l'intéressant ouvrage de M. H. Maréchal, ingénieur des Ponts et Chaussées, l'*Eclairage à Paris*, on trouve la comparaison des

[1] Voir *The Electrician*, n° du 4 janvier 1895, p. 266.

TABLEAU I.

CABLES NUS EN CANIVEAUX DE BÉTON DE CIMENT OU EN GALERIES (Longueurs en mètres).

	FEEDERS	DISTRIBUTEURS	TOTAUX	OBSERVATIONS
Secteur A ([1])	15800	46600	62400	([1]) Distribution à 2 fils en caniveaux de béton de ciment.
Secteur B ([2])	17300	33100	50400	([2]) Distribution à 3 fils.
Totaux.	33100	79700	112800	

TABLEAU IV.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE

DÉFINITION des systèmes	LONGUEUR totale des conducteurs	PROPORTION 0/0
Câbles nus en caniveaux souterrains.	112800m	37
Câbles recouverts en caniveaux souterrains.	25600	8
Câbles armés.	168270	55
Total.	306670	100

TABLEAU II.

CABLES RECOUVERTS EN CANIVEAUX (Longueurs en mètres).

	FEEDERS	DISTRIBUTEURS	TOTAUX	OBSERVATIONS
Secteur A ([1]).	700	2400 ([2])	3100	([1]) Distribution à 2 fils. ([2]) Distribution à 2 fils.
Secteur B ([3]).	»	14200 ([4])	14200	([3]) Distribution à 5 fils ([4]) En caniveaux métalliques dans des cases en bois paraffiné.
Secteur C ([5]).	2700	2200 ([6]) 3400 ([7])	8300	([5]) Distribution à 3 fils et à 2 fils. ([6]) Câbles recouverts sur isolateurs en porcelaine. ([7]) Câbles recouverts placés dans des moulures en bois et dans des caniveaux en béton de ciment.
Totaux.	3400	22200	25600	

TABLEAU III.

CABLES ARMÉS (Longueurs en mètres).

	FEEDERS	DISTRIBUTEURS	TOTAUX	OBSERVATIONS
Secteur A ([1]).	170	200	370	([1]) Distribution à 2 fils.
Secteur B ([2]).	»	1000	1000	([2]) Distribution à 3 fils.
Secteur C ([2]).	300	100	400	
Secteur D.	4800 ([3]) 1700 ([2])	22600 ([3]) 6400 ([2])	27400 ([3]) 8100 ([2])	([3]) Distribution à 5 fils.
Secteur E ([3]).	20600	49900	70500	
Secteur F ([4]).	12700	47800	60500	([4]) Distribution à 2 fils (câbles concentriques).
Totaux.	40270	128000	168270	

prix de revient des divers systèmes (pages 229 à 331) : il en résulte qu'une canalisation à 3 fils de 200 — 100 — 200 mm² pour courant continu, 240 volts, coûte 31 francs ([1]), le mètre, en câbles armés et 33 francs en caniveau ; qu'une canalisation à 2 fils de 60 mm² pour courant alternatif de 2.000 à 3.000 volts coûte 56 francs en caniveau et 24 francs en câbles armés concentriques.

Il faut signaler d'ailleurs à l'avantage des câbles nus qu'on peut, avec eux, sans grand inconvénient, augmenter la densité de courant, tandis qu'avec des câbles armés on risquerait d'avarier l'isolant, sous l'effet d'un échauffement excessif. Cette considération, il est vrai, ne peut logiquement s'appliquer qu'aux

([1]) Exactement 33 fr. 10 ou 32 fr. 20 en comprenant les frais de réfection du trottoir soit en bitume, soit en granit.

feeders, car la section des distributeurs doit être assez largement calculée pour qu'entre deux points de jonction avec les feeders, la perte de voltage soit aussi faible que possible et, en tout cas, ne dépasse pas une limite donnée. Pour les feeders eux-mêmes, quand la consommation augmente assez sur le réseau pour qu'il y ait lieu de se préoccuper de la densité de courant, il convient d'examiner s'il ne vaut pas mieux établir un nouveau feeder au lieu de consommer de l'énergie sous forme de chaleur.

En résumé, on peut, d'après les résultats actuellement obtenus, et, sous réserve de ce que l'expérience pourra encore démontrer dans l'avenir, conclure de la façon suivante :

En ce qui concerne les grandes villes où les exigences de la circulation publique imposent l'emploi des canalisations souterraines, il y a lieu de recourir, autant que possible, à l'emploi de canalisations en câbles, comportant avec eux-mêmes et simultanément la double protection électrique et mécanique et placés directement en terre, du type dit câbles armés [1].

Si, pour des raisons particulières, on a recours à un système de canalisation constituée par des conducteurs placés dans des conduites, il y a lieu de n'adopter ce système qu'après étude détaillée : on devra s'informer en particulier des résultats déjà obtenus, vérifier si la canalisation est imperméable à l'eau et assurer, en tout cas, l'évacuation immédiate de celle-ci en cas d'introduction accidentelle.

On devra se préoccuper de la nature des matériaux employés dans la construction des conduites : dans cet ordre d'idées, il convient généralement de proscrire l'emploi des conduites en poteries vernissées et dans le cas de conducteurs recouverts, l'emploi de crochets en fer pour leur servir de supports.

Il ne faut pas, en principe, recourir aux conduites métalliques; quand cet emploi est obligatoire pour des raisons particulières, il faut que les câbles qui y sont placés soient isolés avec le même soin que s'ils étaient posés directement en terre.

Au point de vue de l'exploitation, dans le cas de conduites souterraines, il convient de se préoccuper particulièrement de leur ventilation et de prévenir les accumulations de mélanges détonants d'air et de gaz d'éclairage.

Enfin, dans tous les cas, il y a lieu de procéder à des mesures régulières et périodiques de l'isolement des conducteurs.

A. MONMERQUÉ.
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

(1) L'arrêté préfectoral type du 15 septembre 1893 porte en son article 17 § 4 :

« Il est fait exclusivement usage de câbles armés « dans les cas suivants :

« 1° Lorsqu'il y a intérêt pour la sécurité de la circu- « lation publique ou la conservation des ouvrages à « maintenir l'isolement prévu ;

« 2° Lorsque les conducteurs rencontrent fréquemment « sur leur parcours des conduites métalliques d'eau, de « gaz, d'air comprimé ou d'électricité déjà autorisées, « ou qu'ils se trouvent à moins de 0^m50 de ces con- « duites ;

« 3° Lorqu'ils sont placés dans des conduites métal- « liques ;

« 4° Lorsque le trottoir a moins de 2 mètres de lar- « geur. »

SUR L'AUGMENTATION LENTE DE LA PERTE DANS LES TRANSFORMATEURS

On a constaté, dans certains cas, en mesurant la puissance absorbée par des transformateurs à circuit secondaire ouvert mais dont le primaire restait en relation constante avec la source, que la perte dans ces appareils augmente lentement avec le temps. Comme la perte par l'effet calorifique du courant dans l'enroulement reste constante, c'est donc la perte dans le fer qui subit la variation constatée.

Ce fait nouveau ou tout au moins peu connu a été signalé récemment par M. G.-W. Partridge dans l'*Electrician*, de Londres, et a donné lieu dans ce journal à différentes com-

munications intéressantes que nous allons résumer.

La question présente un intérêt scientifique indéniable, les variations progressives dans les propriétés magnétiques du fer sous l'influence d'actions de longue durée n'ayant été que peu étudiées; le professeur Ewing lui-même n'avait pas, au cours de ses longues recherches, observé le fait dont il est question.

Grâce aux nombreux travaux effectués dans ces dernières années sur un appareil qui est en quelque sorte le pivot des applications du

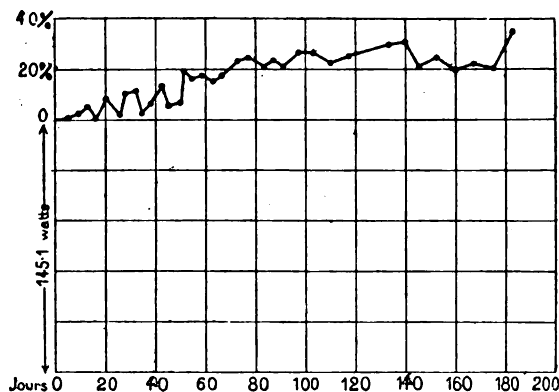


Fig. 1. — Courbe de la perte de puissance d'un transformateur de 750 watts, fonctionnant à vide, pendant 4 mois.

courant alternatif, on a réussi à en augmenter le rendement spécifique à un degré égalé par bien peu d'autres appareils. L'attention du constructeur doit donc être attirée sur les changements qui peuvent se produire dans les propriétés des transformateurs pendant leur fonctionnement.

La note publiée par M. Partridge est fort courte; elle ne donne, sous forme de courbes, que les résultats des mesures effectuées sur trois transformateurs. Les courbes 1 et 2 se rapportent à deux transformateurs semblables de 750 watts; elles donnent en pour cent l'augmentation de la perte à vide pendant toute la durée de l'expérience. Dans le cas de la figure 1, le transformateur, enfermé dans son enveloppe, est resté en circuit pendant quatre mois. Le second transformateur, dont on avait enlevé l'enveloppe extérieure, n'avait d'abord pas été relié à la source; on ne l'aimantait, tous les trois jours, que pour effectuer les mesures, et l'on trouvait toujours, pour la puissance absorbée, le même nombre. Intercalé ensuite d'une façon permanente dans le circuit, ce

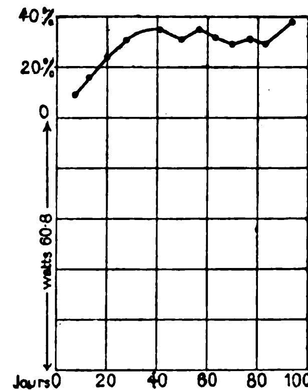


Fig. 2. — Courbe de la perte d'un transformateur semblable, fonctionnant sans son enveloppe.

transformateur a fourni la courbe de la figure 2, Dans les deux cas, la perte a augmenté peu à peu d'environ 40 p. 100 et cette modification est déjà atteinte au bout d'environ deux mois de fonctionnement.

Pour le troisième transformateur, de 15.000

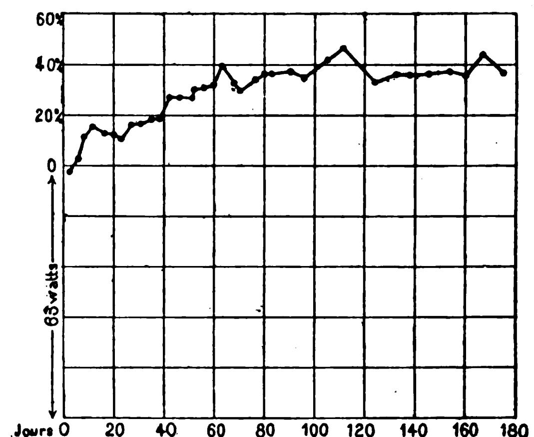


Fig. 3. — Courbe de la perte de puissance d'un tranformateur de 15,000 watts, en service régulier, à charge variable.

watts, soumis à des charges variables en service régulier dans une sous-station, les mêmes particularités ont été observées (fig. 3).

Il est à regretter qu'on ne nous dise pas par quelle méthode et dans quelles conditions

la perte a été mesurée; car, d'une part, certaines de ces conditions peuvent varier d'une mesure à l'autre, et introduire des erreurs, et, d'autre part, des autorités comme M. J.-A. Fleming nient la généralité du fait observé.

M. Fleming est, on le sait, un de ceux qui ont le plus étudié les transformateurs; ses laborieuses recherches ne sont pas terminées et il se trouve que dans le courant de l'année dernière ses expériences ont porté sur les variations de la perte dans le fer avec le temps. Or, pour les transformateurs soumis à l'essai, il n'a pas observé de variation progressive de la perte dans le fer.

Les expériences ont duré quatre mois, les transformateurs employés étaient deux appareils de 30 kilowatts qui sortaient des ateliers du constructeur. Ces transformateurs, que nous appellerons A et B, ont été essayés avec un même alternateur Mordey. Reliés au circuit, le 25 juillet 1894, on a immédiatement déterminé leur perte à circuit secondaire ouvert; les nombres obtenus sont $A = 578{,}5$ et $B = 595$ watts. A mesure que les transformateurs s'échauffaient, la perte par hystérésis diminuait, et au bout des premières vingt-quatre heures on trouva $A = 537$ watts, $B = 534$ watts. Au bout de quarante-huit heures, les pertes étaient $A = 540$ watts, $B = 535$ watts. Les pertes furent ensuite observées pendant les mois d'août, de septembre et de novembre; le 24 de ce dernier mois on obtint $A = 539$ watts et $B = 552$ watts.

On voit donc que s'il peut y avoir des variations accidentelles assez notables de la perte, ces chiffres d'expériences ne semblent pas indiquer une progression continue bien caractérisée.

Deux facteurs peuvent avoir une influence notable sur l'hystérésis et dans les mesures. En premier lieu, on sait qu'une élévation de la température a pour effet d'abaisser considérablement la perte dans le fer. Un même transformateur mesuré à froid et à chaud ne présente pas le même rendement. On peut trouver, dans les cas ordinaires, entre ces deux états plus de 10 p. 100 de différence dans la perte.

D'autre part, la forme de la courbe du courant intervient pour modifier la perte hystérésique. Si la courbe diffère de la sinusoïde simple, chacune des composantes périodiques fait décrire au fer son propre cycle d'hystérésis et la somme de ces cycles ne présentera, en général, pas la même surface que le cycle fourni par un courant sinusoïdal équivalent au point de vue de l'intensité efficace. La perméabilité du fer variant à l'intérieur du cycle, le fer des machines tend à imprimer au courant qu'elles produisent des déformations que leur self-induction tend à corriger. On conçoit donc qu'il peut y avoir d'assez grandes différences entre les courbes des courants produits par deux machines différentes. En outre, pour une même machine, la forme du courant varie avec la charge.

Il résulte de ces considérations que pour étudier les variations de la perte dans un transformateur, les différentes mesures doivent être faites dans les mêmes conditions de température du noyau magnétique, et que le courant doit être emprunté au même alternateur à charge égale.

Ces conditions ont été strictement observées par M. Fleming; les indications relatives aux expériences de M. Partridge, nous font défaut.

Une donnée qu'il eût aussi été intéressant de connaître, c'est la limite de l'induction magnétique atteinte, car les cycles d'hystérésis entre des limites étroites de $\mathfrak{B}$ sont moins permanents que les cycles de plus grande étendue. Pour les aimantations modérées, les premiers cycles décrits vont en se contractant, comme l'a montré M. Ewing; mais cet effet est de courte durée et ne semble pas avoir de relations avec des variations observées après plusieurs jours.

L'expérience concluante à faire consisterait à soumettre un échantillon de fer de qualités magnétiques bien connues à des aimantations alternatives pendant plusieurs mois, et à l'examiner ensuite à nouveau, principalement pour s'assurer si l'aire du cycle $\mathfrak{B}\ \mathcal{H}$ a été modifiée. Des expériences dans ce sens sont

instituées au labotatoire de Fleming. M. Roger Smith a constaté une augmentation considérable de l'hystérésis dans un échantillon de fer ayant été soumis à 240 millions d'inversions d'aimantation. Mais ce n'est là que le résultat d'une expérience unique, qui ne permet pas encore de conclure.

En tout cas, l'effet, si son existence est confirmée, aurait beaucoup d'analogie avec l'influence cumulative d'efforts répétés sur les propriétés mécaniques des métaux. Les expériences de Woehler indiquent, d'après l'interprétation qu'on en donne généralement, une diminution progressive de la résistance sous l'action d'applications nombreuses et alternatives d'une charge même très modérée, et lord Kelvin a montré, par des expériences sur la torsion de vibrateurs suspendus à de longs fils, que la vitesse d'amortissement des oscillations due à l'élasticité imparfaite est augmentée lorsque les fils se tordent et se détordent un très grand nombre de fois. Il se produit une sorte de fatigue progressive de l'élasticité; en d'autres termes, l'hystérésis de la déformation par rapport à l'effort exercé est accrue par les répétitions de l'action. C'est précisément ce qui aurait lieu pour le magnétisme.

Lord Kelvin a montré aussi que cette fatigue tend à disparaître dans les intervalles de repos. Ses fils étaient maintenus en oscillation pendant toute la semaine; le dimanche, on les laissait au repos, et le lundi on constatait qu'ils avaient retrouvé une partie de l'élasticité perdue. M. Ewing pense qu'il est naturel de rechercher si un phénomène analogue se produit dans le cas de l'aimantation alternative du fer. Il y aurait alors une raison de plus pour retirer les transformateurs du circuit pendant leurs périodes d'inactivité.

D'après M. Mordey, qui s'est également beaucoup occupé de la question, cette restauration des propriétés magnétiques ne se produit pas pendant le repos; le retour à l'état magnétique initial s'obtient par l'opération du recuit. Pour lui, l'effet observé est une modification physique résultant d'une exposition continue du fer à une température modérée; cette opinion est corroborée par celle de M. O. T. Blathy qui a observé une augmentation de la perte de 20 et 25 p. 100, et affirme que cet effet peut être obtenu en soumettant le noyau du transformateur pendant quelques heures à une température de 150° C.

Il ne s'agirait donc pas d'une fatigue magnétique progressive; aucune action magnétique ou électrique n'interviendrait dans le phénomène, et la preuve en serait qu'en appliquant le courant de telle sorte que la température du noyau de fer ne s'élève pas trop audessus de la température ambiante, le métal conserverait ses propriétés initiales.

On voit que les opinions diffèrent; il convient de remarquer d'ailleurs que M. Mordey ne parle que de modifications de la perméabilité. La perte par hystérésis étant proportionnelle à l'induction magnétique maxima atteinte dans le cycle, élevée à une certaine puissance, les variations de la perméabilité agissent sur l'hystérésis de deux manières; d'abord en changeant les limites de l'induction accessibles par la même force magnétisante, et ensuite en modifiant l'exposant qui, d'après les récentes expériences de M. Ewing et Miss Klaasen, peut varier notablement d'un fer à l'autre. En outre, avec la perméabilité, la puissance dissipée en courants de Foucault peut varier.

La question est donc loin d'être élucidée, puisqu'il reste encore à caractériser nettement les causes du phénomène, et que l'existence de l'effet lui-même est mise en doute, au moins quant à sa généralité. Si l'on accepte l'interprétation de M. Mordey, selon laquelle l'élévation de température serait la cause agissante, il y aurait un remède tout indiqué pour empêcher l'abaissement progressif du rendement. Il suffirait d'éviter l'échauffement trop considérable des transformateurs, en leur donnant de plus grandes dimensions. Si, au contraire, le magnétisme devait en être rendu responsable, le remède serait encore à trouver.

Quoi qu'il en soit, l'inconvénient n'est pas tellement grave qu'il ne puisse être supporté.

Si une perte dans le fer de 1 p. 100 augmente de 40 p. 100, et devient par conséquent 1,4 p. 100, cela est évidemment regrettable, mais ne peut compromettre d'une manière sérieuse l'économie des transformateurs. Mais il y aurait imprudence, de la part du constructeur, à garantir que la perte dans ses appareils ne saurait dépasser celle que ses propres mesures lui auraient indiquée.

A. HESS.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Emploi des accumulateurs dans une station centrale d'éclairage et de traction, par G. Herbert Condict (1).

La petite ville de Merrill, qui a une population de 9.000 habitants, est située sur la rivière de Wisconsin, à 408 kilomètres de Milwaukee. La Merrill Railway and Lightning Company exploite une ligne de tramways à canalisation aérienne qui traverse la ville de part en part, sur une longueur de près de 3 kilomètres; cette ligne est à simple voie, avec deux garages; deux voitures suffisent au service; le trajet s'effectue en vingt ou trente minutes, suivant que la circulation est plus ou moins active.

La force motrice est fournie par une roue hydraulique sans régulateur; les variations de charge sont, en effet, si grandes et si brusques que la régularisation eût été impossible. On conçoit que, dans ces conditions, le fonctionnement des tramways n'était pas irréprochable.

Le courant d'éclairage est fourni par deux stations, une hydraulique et une à vapeur; la première est munie de deux dynamos de 5 kilowatts, alimentant, par une distribution à 3 fils, 1.000 lampes à incandescence, et d'une dynamo de 150 lampes, montées par 5 en série, la tension de distribution étant, pour cette dynamo, de 500 volts. La seconde station comprend : une dynamo de 20 kilowatts alimentant par une distribution à deux fils, 400 lampes, une dynamo de 150 lampes et une dynamo alimentant 30 lampes à arc. L'éclairage de la ville est fait entièrement à l'électricité; le gaz y est inconnu.

La batterie d'accumulateurs a été installée récemment à mi-chemin entre les deux stations, le long de la ligne de tramways; elle comprend 240 éléments au chlorure de plomb, d'une capacité de 500 ampères-heures, avec un courant normal de décharge de 50 ampères. Elle est partagée en 4 séries de 60 éléments chaque, reliées à un tableau de distribution qui permet de décharger les 240 éléments en série sur la ligne de tramways, ou sur le circuit d'éclairage, en deux séries de 60 éléments sur chaque réseau de la distribution à 3 fils. Elle peut dans ces conditions alimenter 400 lampes de 16 bougies pendant dix heures. Une résistance variable est placée en circuit entre la batterie et le tramway, afin de réduire la tension à 500 volts dans les premiers moments de la décharge.

Avant l'installation de cette batterie, l'éclairage et le fonctionnement de la seule voiture de tramway employée pendant la nuit étaient très défectueux. Par suite du manque de pression, on était forcé de coupler les deux circuits d'éclairage et de traction, en sorte que toutes les variations sur la ligne de tramway se répercutaient dans les lampes. Les habitants menaçaient d'abandonner l'éclairage électrique et demandaient qu'on revînt à la traction animale. Depuis l'installation de la batterie, tout a marché à souhait. Les deux roues motrices ont été couplées comme auparavant, mais la dynamo du tramway charge la batterie au taux constant de 20 ampères, au lieu d'avoir à alimenter un moteur dont la consommation varie constamment de 0 à 120 ampères. On a pu faire marcher les deux voitures simultanément; leurs lampes donnent une lumière vive et fixe; tandis qu'avant, une seule voiture ne pouvait accomplir

(1) D'après une communication faite à l'Association des électriciens à Milwaukee, le 15 janvier 1895.

le trajet dans le temps réglementaire, à présent, les deux voitures peuvent atteindre leur vitesse maxima. D'un autre côté, l'éclairage de la ville est pratiquement parfait; la courbe du voltage est droite. Plusieurs fois, les deux voitures de tramways ont été alimentées par la batterie seulement, pendant plusieurs heures de suite, ce qui a permis de suspendre tout travail pendant la journée et d'employer pendant la nuit, toute la puissance pour l'éclairage.

La compagnie a l'intention d'augmenter la puissance de la station hydraulique par l'addition d'une nouvelle turbine pour actionner la génératrice du tramway. Les deux roues actuelles pourront ainsi être utilisées pour l'éclairage, tandis que la batterie d'accumulateurs alimentera le réseau d'éclairage à incandescence du côté ouest de la ville. La batterie sera chargée pendant le jour, comme à présent, par la dynamo du tramway dont elle maintiendra le voltage constant. Cette disposition permettra de supprimer complètement l'usine à vapeur et de réaliser une importante économie.

Cet exemple pourra être suivi avec avantage dans nombre de petites villes. G. P.

Statistique des tramways électriques, en Amérique.

Le *Street Railway Journal*, de New-York, publie la statistique comparée pour 1893 et 1894, des tramways dans l'Amérique du Nord. Les nombres de kilomètres indiqués se rapportent à la voie simple; les voies doubles sont comptées au double de leur longueur et les aiguillages, comme longueurs additionnelles; nous résumons cette statistique dans le tableau ci-dessous.

ANNÉES	SYSTÈME DE TRACTION								TOTAL	
	ANIMALE		ÉLECTRIQUE		FUNICULAIRE		A VAPEUR			
	Km.	Voitures	Km.	Voitures	Km.	Voitures	Km.	Voitures	Km.	Voitures
1893	5718	16875	12075	17128	1051	4789	1050	2023	19894	40815
1894	3589	11507	14413	22849	1059	4673	982	2639	20043	41668
Augmentation en 1894	»	»	2338	5721	8	»	»	616	149	853
Diminution en 1894	2129	5368	»	»	»	116	68	»	»	»

On voit que, pendant l'année 1894, plus de 2.000 kilomètres de tramways à traction animale ont été remplacés par des tramways électriques. Un certain nombre de lignes nouvelles ont été installées.

Cette statistique appelle une autre remarque relative au nombre de voitures employées par kilomètre. Il se répartit comme suit :

	Par 100 km.
Traction animale	320,6
— électrique	158,5
— funiculaire	441,2
— à vapeur	268,7

Le faible nombre de voitures employées pour la traction électrique tient à la grande vitesse que ce système permet d'atteindre. Par contre, le nombre considérable de voitures employées sur les lignes à traction funiculaire tient à ce que, en raison des frais considérables d'installation, ce système ne peut être adopté que sur des parcours relativement courts et à trafic intense. Dans ces conditions, chaque voiture motrice remorque plusieurs wagons. Il faut se souvenir, d'ailleurs, que ces chiffres se rapportent à un ensemble considérable de lignes, et qu'il existe, en général, de grandes différences entre chacune d'elles.

Cette statistique demanderait à être complétée par les chiffres relatifs au nombre de voyageurs transportés et aux frais d'exploitation.

Nous y reviendrons aussitôt que ces renseignements nous seront parvenus.

G. P.

Notes sur la téléphonie aux États-Unis, par G. de la Touanne (1).

POSTES CENTRAUX. — COMMUTATEURS MULTIPLES.

On connaît le principe des commutateurs multiples. On s'imagine volontiers, *a priori*, que la série des contacts successifs échelonnés sur un même fil tout le long d'un tableau, doit opposer un obstacle considérable et presque insurmontable au fonctionnement du système. Il en est autrement après qu'on a pris connaissance des résultats acquis dans la pratique journalière. Les nombres que nous avons cités, 11 dérangements relevés en treize mois dans 15.660 jacks généraux, 21 seulement relevés dans 17.380 (dont les 15.660 précédents), pendant six mois qui ont immédiatement suivi d'importants travaux exécutés au même bureau (travaux nécessairement accompagnés d'une notable poussière), prouvent que le maintien des appareils en bon état est une pure question de soin. L'expérience, en fait, a démenti les prévisions pessimistes auxquelles nous faisons allusion et montré que, dans le cas où le service des multiples était médiocre, les mesures élémentaires de propreté et les précautions les plus simples d'entretien n'avaient pas été prises.

Il est évident néanmoins que la multiplication des contacts en série sur un même fil constitue une chance de dérangements, et que, parmi les dérangements peu nombreux avec une bonne exploitation, qui viennent à se produire dans les commutateurs, une proportion très appréciable provient de défauts dans les contacts des jacks; il est certainement mieux d'éliminer ce risque. Aussi les efforts incessants tendant au perfectionnement du système multiple ont-ils visé en particulier la suppression de ces contacts. Le type actuellement adopté pour presque tous les nouveaux bureaux un peu importants, peut-être tous, est, à de menus détails près, celui mis en service au mois de novembre 1892, à Albany, capitale de l'État de New-York: les bons effets qu'on en a obtenus l'ont consacré, et l'on en compte aujourd'hui plus d'une quinzaine en fonctionnement.

Ce multiple est combiné pour circuits bifilaires, aucun doute n'existant plus maintenant chez les hommes qui ont exploité et comparé les deux genres de circuits, sur l'infériorité du circuit unifilaire (1); il est en outre combiné de telle sorte que le rappel du volet d'annonciateur s'y effectue sinon automatiquement comme on le dit parfois, du moins sans manœuvre spéciale de la part de l'opérateur, et simplement comme résultat de manœuvres nécessitées par ailleurs. Enfin, il appartient au genre dicorde, les monocordes ayant, ainsi qu'on le prévoyait, été abandonnés jusqu'à nouvel ordre.

Multiple bifilaire à jacks dérivés. — Chaque jack général (fig. 3, 4 et 5) comprend trois ressorts c_1, r_1, p_1 ..... c_m, r_m, p_m, et deux anneaux ou bagues a_1, ρ_1 ..... a_m, ρ_m, placés l'un devant l'autre.

Un fil de ligne L_1 est relié aux anneaux postérieurs a_1 ...... a_m. a_i, par autant de *dérivations*. Le second fil de ligne L_2 est raccordé de la même manière aux ressorts c_1 ..... c_m, c_i. On doit noter que le raccord du jack individuel à la ligne étant obtenu par des dérivations, peut être fait en un point quelconque de la longueur du tableau commutateur; les fils de retour de l'une des extrémités du commutateur jusqu'à la section où est pris le jack individuel d'une ligne ne sont donc plus nécessaires comme ils l'étaient dans le multiple à jacks embrochés: cet avantage n'est pas négligeable. Sur les dérivations de ligne correspondant au jack individuel, est lui-même placé en pont l'annonciateur individuel ou plutôt le circuit de ligne de l'annonciateur individuel, car celui-ci, nous l'allons voir dans un instant, porte

(1) Voir l'*Éclairage électrique* du 26 janvier 1895, p. 166.

(1) Quelques chefs de réseaux, pour éviter la pose de deux fils par ligne et, dans certains cas, la transformation du réseau, adoptent la solution du fil de retour commun; mais aucun, à notre connaissance, n'accorde en principe la préférence au circuit unifilaire proprement dit.

deux circuits, l'un relié à la ligne et l'autre local. Les anneaux antérieurs ρ_1 ..... ρ_m, ρ_i, sont reliés dans les jacks correspondants aux ressorts r_1 ..... r_m, r_i et ces différents groupes de deux organes sont réunis entre eux par un du même coup, mis en communication avec l'ensemble des bagues ρ_1 ..... ρ_m de tous les jacks attribués à la même ligne et aussi avec tout circuit rattaché en un point au fil qui relie entre eux les groupes r_1, ρ_1 ..... r_m, ρ_m. Or le cir-

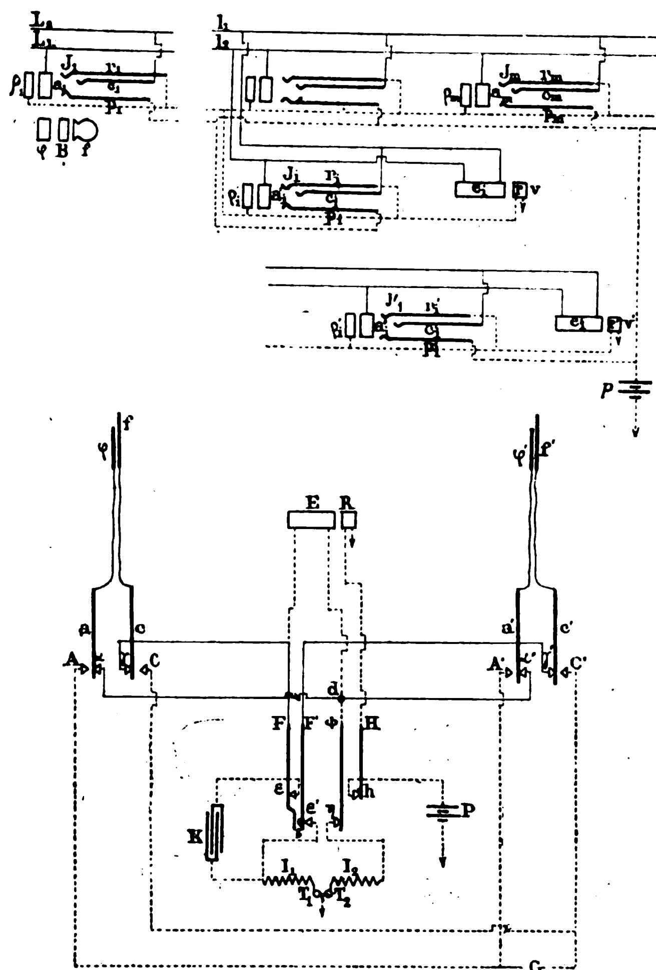


Fig. 3. — Schéma des circuits d'un multiple bifilaire à jacks dérivés.

même fil. Enfin les ressorts p_1 ..... p_m, p_i sont également montés en dérivation sur un même conducteur aboutissant à l'un des pôles d'une pile p dont l'autre pôle est à la terre et qui sert en même temps : 1° à l'essai ; 2° au relèvement automatique du volet annonciateur.

On voit dès lors que si, dans un jack quelconque J_i, le ressort r_i et le ressort p_i sont réunis en court circuit, le pôle de la pile p sera, cuit local r de l'annonciateur individuel est précisément dans ce cas, aboutissant par une extrémité au fil en question et, par l'autre, à la terre.

Le premier effet donne un moyen d'essayer la ligne, le second de provoquer soit le retour au repos du volet de l'annonciateur s'il a fonctionné, soit le maintien en place lorsqu'il est déjà au repos.

L'annonciateur construit en vue de cette double destination n'est d'ailleurs que l'annonciateur tubulaire ordinaire [1], renfoncé et convenablement complété. On retrouve dans ce modèle (fig. 6 et 7) l'électro-aimant tubulaire horizontal E avec l'armature A et le levier BC; peut tomber en tournant autour de l'axe inférieur F, mais seulement d'une petite quantité, et prend une légère inclinaison, restant presque verticale. Dans ce faible mouvement de chute, l'armature I pousse de haut en bas le talon *d* du volet V et, par suite de la petite

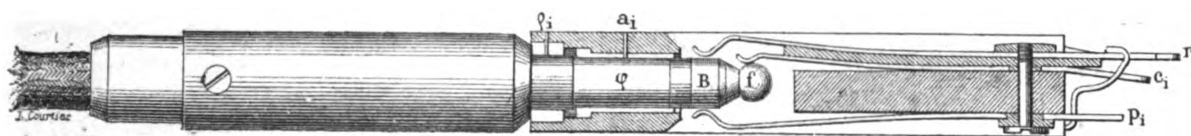
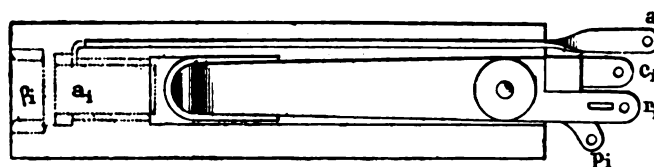


Fig. 4.



Fg. 4 et 5. — Détail des jacks et des ressorts de contact.

mais le volet ou plutôt la pièce mobile I, sur laquelle agit directement le levier, n'est autre chose que l'armature d'un petit électro-aimant supplémentaire R, beaucoup plus court que le premier, placé dans le prolongement de E, également tubulaire et qui sert à rappeler ou à maintenir I, nous allons voir comment. Devant I, au repos, se trouve abaissée (fig. 6 et 8) une petite plaquette d'aluminium V, formant le véritable volet, pouvant pivoter autour de l'axe D et repliée, suivant une étroite bande *d*, en arrière de cet axe, jusqu'à appuyer légèrement sur l'armature I ; une fois libérée par le levier BC, cette armature I, assez lourde, longueur du bras du levier sur lequel elle agit ainsi, relève assez le volet pour être elle-même complètement démasquée (fig. 9) ; les chiffres peints à la surface apparaissent à l'employé et I remplit son rôle d'indicateur. D'autre part, aussitôt que le fil de R est parcouru par un courant suffisant (45α), l'armature I, grâce à

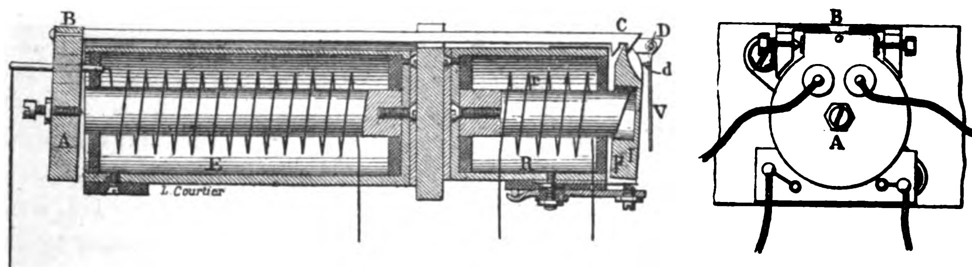


Fig. 6 et 7. — Annonciateur à rappel automatique. Coupe et vue en bout.

son peu d'éloignement du noyau de cet électro-aimant supplémentaire et à la disposition du noyau lui-même, est attirée par celui-ci et ramenée en arrière jusqu'à enclencher de nouveau avec le bec du levier, tandis que V, retombant sous l'action de la pesanteur, masque derechef le numéro inscrit sur I : cet état subsiste aussi longtemps que passe le courant dans R, lors même que le levier BC serait sou-

[1] *Annales télégraphiques*, t. XVII, 1890, p. 512.

levé transitoirement ou en permanence par quelque courant traversant E.

prend communication avec c_i, c'est-à-dire L_2 et le manchon φ avec a_i, c'est-à-dire L_1. D'au-

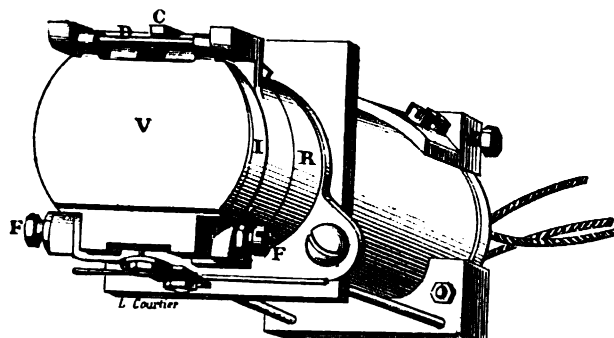


Fig. 8. — Annonciateur à rappel électrique automatique, fermé. Vue perspective.

Les deux effets signalés plus haut se produisent donc avec une égale sûreté ; pour qu'ils aient lieu, il suffit que le court circuit dont nous avons parlé entre r_i et p_i soit établi par la fiche qui sera enfoncée dans le jack J_i. C'est

tre part, ce même manchon est isolé de l'anneau ρ_i par une bague d'ébonite : cet anneau, en effet, n'intervient pas comme partie intégrante dans le circuit composite formé par la liaison de deux lignes d'abonnés, le rôle des

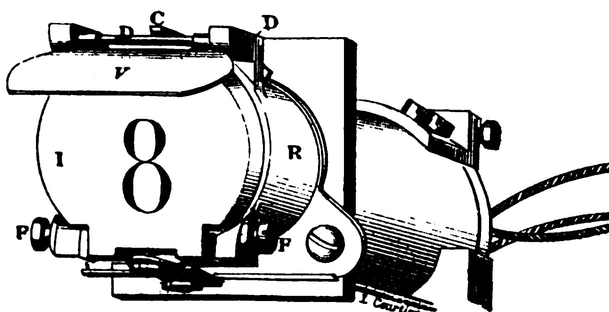


Fig. 9. — Annonciateur à rappel électrique automatique, ouvert. Vue perspective.

l'office que remplit la bague B (fig. 4 et 10) disposée à l'extrémité de la fiche entre la pointe f de la broche centrale qui correspond à un conducteur du cordon et le manchon φ qui correspond à l'autre, la bague B restant d'ailleurs

anneaux ρ_1 ..... ρ_m étant simplement de fournir un moyen de reconnaître, dans n'importe quelle section du multiple, si la ligne L_1L_2 est occupée. Ceci nous conduit à examiner la disposition des cordons et des clefs.

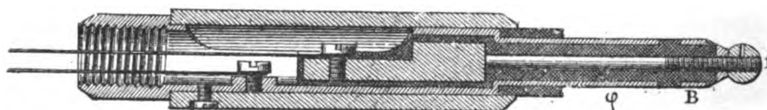


Fig. 10. — Coupe du jack.

isolée de toute autre partie de la fiche.

Quant aux autres communications établies par l'enfoncement de celle-ci, elles sont aisées à reconnaître sur les figures 3 et 4 ; la pointe f

Comme nous l'avons dit plus haut, le système appartient au genre dicorde. Nous trouvons donc (fig. 3) pour donner chaque communication, deux fiches $f\varphi$, $f'\varphi'$ terminant

chacune un cordon ; les cordons, à l'autre extrémité, sont reliés à des clefs d'appel dont les ressorts *ac*, *a'c'* appuient au repos sur les butoirs $\alpha, \gamma, \alpha', \gamma'$. Pour appeler, l'opérateur, à l'aide d'un coin convenablement disposé, écarte les ressorts des butoirs $\alpha, \gamma, \alpha', \gamma'$, et les amène sur les butoirs A, C, A', C', communiquant avec les pôles du générateur d'électricité G. La clef d'écoute comprend quatre ressorts F, F', Φ, H qui, pendant la conversation des abonnés, sont éloignés de tous les butoirs $\varepsilon, \varepsilon', \eta$ et *h* ; F et F' sont d'ailleurs en contact, par la saillie métallique *s* de F' ; F et F' communiquant respectivement avec γ et γ', φ et φ' avec α et α' et Φ étant relié en *d* au fil continu qui joint α et α', il en résulte que le circuit de conversation est complètement fermé.

On remarquera d'autre part sur la figure que l'annonciateur de fin de conversation E R constitué comme les annonciateurs individuels décrits ci-dessus, est, par l'électro-aimant de ligne E, en dérivation entre les deux conducteurs α *d* α'., F*s* F' γ', tandis que l'électro-aimant de rappel R, à la terre par une extrémité, est isolé par l'autre qui aboutit au ressort H. Dès lors, le signal terminal émis par l'abonné, à la fin de la conversation, étant reçu dans E en actionne la palette ; l'indicateur, non retenu par R, s'incline en se démasquant par le relèvement du volet. Dans le même temps, ces courants émis par les abonnés sont sans action sur leurs annonciateurs individuels, puisque les fiches enfoncées dans les jacks envoient dans les électro-aimants de rappel le courant provenant de la pile *p*. Au signal d'achèvement de la conversation, l'opérateur ramène au repos, sur les butoirs $\varepsilon, \varepsilon'. \eta$, *h* les quatre ressorts de la clef d'écoute et se trouve par là en communication immédiate avec les abonnés, grâce à l'introduction, en dérivation sur les deux conducteurs du circuit, de son propre poste microphonique : le circuit secondaire du poste aboutit en effet, d'une part, au fil α *d* α' par η et Φ, et d'autre part au conducteur γ γ' par sa liaison avec la communication établie entre ε et ε' à travers le condensateur K. Il faut noter qu'en ramenant au repos la clef d'écoute et en laissant H reprendre contact avec *h*, on a provoqué le passage dans R d'un courant dû à la pile P dont un pôle aboutit à *h*, tandis que l'autre est à la terre : l'indicateur est ainsi, sans manœuvre supplémentaire, ramené en arrière, masqué de nouveau par le volet qui retombe et maintenu dans cette situation aussi longtemps que la clef d'écoute restera au repos. — Comme le montre la figure 11, qui représente une clef d'appel, la construction des clefs est très robuste.

Le mode d'essai d'une ligne rappelle beaucoup celui employé dans le multiple à contacts embrochés, bien qu'il y ait une différence capitale dans la façon dont la pile qui doit fournir le « toc » est amenée aux bagues extérieures des jacks : on a vu qu'elle l'était non plus par l'un des fils de ligne, mais grâce à la communication existant entre les ressorts r_1..... r_m et les bagues ρ_1..... ρ_m et par le court circuit établi par la bague isolée B d'une fiche entre l'un des ressorts r_1..... r_m et le ressort correspondant de la série p_1...... p_m en communication constante avec la pile *p*. Ayant donc enfoncé la fiche $f\varphi$ dans le jack individuel de l'appelant, on viendra, la clef d'écoute étant laissée au repos, toucher avec la pointe *f'* la bague

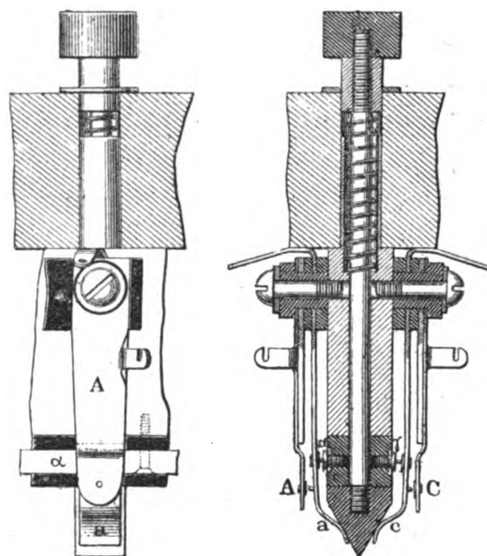


Fig. 11. — Clef de rappel. Élévation et coupe.

ρ'_m du jack général de l'appelé : si l'appelé est en train de converser, la pile p émettra un courant, à travers ρ'_m $f'\gamma'$ F' et ε', dans la moitié I_1 du circuit secondaire de la bobine microphonique et dans la moitié T_1 du téléphone, à la terre en son milieu ; il y aura un « toc ». Au cas contraire, aucun courant ne sera émis, le « toc » ne se produira pas, et l'opérateur, sachant ainsi que la ligne est libre, achèvera d'enfoncer la fiche $f'\varphi'$ dans le jack J'_m de l'appelé, sonnera ce dernier à l'aide de la clef $a'c'$ et mettra la clef d'écoute dans la position de travail, les ressorts F, F', Φ et H écartés des butoirs. Il aura ainsi établi la communication, rappelé et masqué l'indicateur de l'appelant, bloqué cet indicateur et celui de l'appelé, libéré et préparé à fournir le signal final l'indicateur R. On voit combien la disposition des clefs et surtout l'emploi de l'annonciateur à rappel électrique activent les manœuvres pour une mise en communication ([1]).

La faculté de rappeler à distance les indicateurs entraîne une autre conséquence importante. Les annonciateurs, pouvant être mis hors de la portée de la main, ont été disposés à la partie supérieure du meuble, laissant ainsi libre, vers le bas des panneaux, un emplacement avantageusement utilisé pour des jacks. Il n'est point inutile de dire ici que les annonciateurs, ainsi reportés au sommet du meuble, y ont été disposés en gradins *fuyants* de façon à se trouver dans la même direction du regard lorsque l'opérateur lève la tête et non en gradins *saillants*, comme on a proposé parfois de le faire, ce qui oblige à renverser la tête d'une façon incommode. Pour éviter aux opérateurs de trop prêter l'oreille pour saisir le bruit peu intense occasionné par le fonctionnement d'un annonciateur (cet inconvénient semble d'ailleurs un peu illusoire), on a, dans un bureau, disposé les annonciateurs de manière à actionner de petits trembleurs, relativement bruyants, et différant entre eux tous, en sorte que chacun éveille ainsi l'attention du seul opérateur auquel il est affecté.

(*A suivre.*)

([1]) L'automaticité du rappel jointe à la position donnée aux annonciateurs au sommet du meuble présente en outre cet avantage que, pendant le service de nuit, l'employé non seulement voit plus aisément de loin l'annonciateur qui a fonctionné, mais, n'ayant plus besoin d'aller replacer à la main le volet, peut encore établir la communication dans la section même devant laquelle il se trouve à ce moment. D'autre part, pendant le service de jour, le chef du bureau voit mieux les annonciateurs et se rend mieux compte de l'activité des téléphonistes à répondre aux appels.

Sur les limites d'application de la loi de Thomson relative à la section la plus économique des conducteurs électriques.

En 1881, sir W. Thomson, aujourd'hui lord Kelvin, établit une loi définissant les conditions d'économie dans la transmission d'une puissance donnée à une certaine distance.

D'après cette loi, l'économie maxima est réalisée quand le prix de l'énergie absorbée dans un temps donné par la ligne est égal à l'intérêt, à l'amortissement et aux frais d'entretien de la ligne pendant le même laps de temps.

Le professeur Ayrton montra en 1886 que cette loi n'est pas générale ; mais ses observations ne reçurent que peu d'attention et cette circonstance détermina le professeur W. A. Anthony à reprendre à nouveau la question. C'est ce qu'il vient de faire dans l'article intéressant ([1]) résumé ci-après.

Soient:

r, la résistance d'une ligne de transmission, en ohms ;

l, la longueur de la ligne (double), en kilomètres ;

I, l'intensité du courant qui y circule, en ampères ;

P, la puissance produite, en kilowatts ;

p, la puissance recueillie, en kilowats ;

U, la différence de potentiel au départ, en volts ;

u, la différence de potentiel à l'arrivée, en volts ;

([1]) *Electrical Engineer*, 31 octobre 1894.

A, le prix de l'énergie, en francs par watt-année ;

a, la somme de l'intérêt, de l'amortissement et des frais d'entretien, somme proportionnelle à la section du conducteur et réduite à une année et à un conducteur de 1 ohm de résistance par kilomètre.

Si nous admettons, pour simplifier le problème, que la puissance à transmettre est utilisée d'une façon continue, nous devons transmettre dans les conditions les plus économiques possibles, l'énergie obtenue à un certain prix à la station génératrice.

Le coût de l'énergie absorbée dans cette transmission pendant une année est évidemment ArI^2 ; pendant ce même temps, l'intérêt, l'amortissement, etc., sont $a\frac{l^2}{r}$.

Le coût total de la transmission revient donc à :

$$ArI^2 + a\frac{l^2}{r} \qquad (a)...$$

Ces frais doivent être réduits au minimum.

L'intensité I étant déterminée par les conditions du problème, il reste pour unique variable r.

En posant la dérivée par rapport à r égale à zéro, on a :

$$AI^2 - \frac{al^2}{r^2} = 0 \qquad (1)$$

$$AI^2 = \frac{al^2}{r^2},$$

ou bien, en ramenant à la forme ordinaire de la loi de Thomson :

$$ArI^2 = \frac{al^2}{r} \qquad (2)$$

Il en résulte :

$$r = \frac{l}{I}\sqrt{\frac{a}{A}} \qquad (3)$$

$$\frac{r}{l} = \frac{1}{I}\sqrt{\frac{a}{A}}. \qquad (4)$$

Or $\frac{r}{l}$ représente la résistance linéaire du conducteur en ohms par kilomètre, et la dernière équation montre que cette résistance est indépendante de la distance de transmission. C'est là une particularité de la loi en question.

Mais dans la pratique les conditions que la loi de Thomson prend pour base ne sont pas toujours réalisées.

Que nous ayons, par exemple, à transmettre une puissance donnée à un moteur établi à une certaine distance, mais que la différence de potentiel au départ se trouve limitée soit par des considérations relatives à la sécurité, à l'isolement, etc., soit parce qu'il s'agit d'utiliser une génératrice existante ; dans ce cas le coût annuel de la transmission sera comme précédemment :

$$ArI^2 + a\frac{l^2}{r} \qquad (a)...$$

Le problème semble identique au précédent, mais il s'en écarte par ce fait que I est inconnu, variable et lié aux autres facteurs par la condition.

$$p = UI - rI^2 \qquad (5)$$

En appliquant la loi de Thomson, nous arrivons à deux équations, dont on peut tirer I et r :

$$I = \frac{p}{U - l\sqrt{\frac{a}{A}}} \qquad (6)$$

$$r = \frac{l}{I}\sqrt{\frac{a}{A}} \qquad (7)$$

Si l'on met des nombres dans ces équations on arrive à des résultats absurdes.

Dans l'exemple numérique de M. Anthony on serait obligé d'employer 500 chevaux pour recueillir 10 chevaux à 32 kilomètres de distance.

L'erreur provient de ce que la formule qui donne le minimum du coût de la transmission n'est applicable qu'au cas où r est la seule variable, tandis que dans l'exemple choisi, r et l, liés entre eux par la relation (5), sont à la fois variables.

En éliminant r de l'équation (a) en substituant la valeur donnée par (5), le coût total de l'énergie devient

$$A(UI - p) + \frac{al^2I^2}{UI - p}.$$

En dérivant maintenant par rapport à I et

en égalant à zéro, on tire

$$I = \frac{p}{U}\left(1 \pm \frac{\sqrt{\frac{a}{A}l^2}}{U^2 - \frac{a}{A}l^2}\right) \qquad (8)$$

En appliquant à un exemple numérique on obtient des résultats encore plus invraisemblables, et qui montrent que la loi de Thomson n'est pas applicable.

Supposons encore, par exemple, que l'on dispose d'une chute d'eau située à une certaine distance du lieu d'utilisation. Dans ce cas, P est déterminé et nous devons chercher à l'utiliser le mieux possible.

Le potentiel U est limité par des conditions d'isolement, d'où il résulte que I est également déterminé.

Le problème ne consiste pas ici, à obtenir une proportion donnée de l'énergie, de façon que la transmission absorbe le moins possible sous forme de frais d'entretien, d'intérêt, etc., mais il s'agit de partager l'énergie en deux parties, dont l'une est disponible, et dont l'autre est dépensée pour la transmission, de telle façon que la somme représentant la partie utilisée de l'énergie soit dans la proportion la plus favorable avec la dépense totale de production et de transmission.

Soit n le prix de vente de l'énergie par watt-an. Nous devons alors rendre maxima l'expression

$$\frac{n(UI - rI^2)}{kUI + \frac{al^2}{r}} \qquad (9)$$

Appliquée à ce cas spécial, la loi de Thomson conduirait à des dimensions telles que le conducteur absorberait à peu près toute l'énergie disponible.

Chaque cas particulier, et on pourrait en citer une douzaine, conduit à une solution particulière, et il n'y en a qu'un qui soit soumis à la loi de Thompson, et encore les conditions du maximum économique ne donnent pas toujours une solution pratique.

Dans certains cas, les conducteurs seraient exposés à un échauffement trop considérable, dans d'autres le prix de l'énergie serait trop élevé, etc.

Comme nous l'avons fait remarquer, le maximum économique est réalisé dans les divers cas, quand le chiffre des recettes pour l'énergie disponible est aussi grand que possible par rapport à la dépense de production et de transmission.

Si l'énergie à fournir est donnée, la condition d'économie maxima est que les frais de transmission soient minima, et ceux-ci se composent de deux parties : 1° le coût de l'énergie absorbée dans le transport, proportionnel à rI^2, et 2°, l'intérêt et l'amortissement de la ligne proportionnels à $d + \frac{l}{r}$, si l'on désigne par d la partie déterminée par les dimensions du conducteur.

Dans le cas où I est constant, la perte dans la ligne varie comme r et les intérêts sont inversement proportionnels à r ; le produit de ces deux postes est donc constant et passe par un minimum lorsqu'ils sont égaux. C'est le cas où la loi de Thomson est applicable.

Mais si nous admettons que les conditions du problème laissent I indéterminé, I forme une variable comme r ; la somme des deux dépenses déterminées par rI^2 et $\frac{l}{r}$ n'est plus un minimum, quand elles sont égales. En les égalant, on arrivera en général à des valeurs beaucoup plus grandes que le minimum. Dans le cas où la puissance de la génératrice est donnée, les conditions les plus favorables ne sont plus celles qui font de la dépense de transmission un minimum, car on serait conduit à absorber toute la puissance disponible dans la transmission.

Il résulte donc que ces considérations, que la loi de Thomson relative à l'économie des conducteurs n'est pas une loi d'une application générale, mais qu'elle ne s'applique qu'au cas tout particulier où l'intensité du courant est constante. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. J. BLONDIN et C. RAVEAU

Effet des forces mécaniques et de l'aimantation sur les propriétés physiques des alliages de fer et de nickel et de l'acier au manganèse, par Herbert Tomlinson (¹).

Trois alliages de fer et de nickel et de l'acier manganésifère non magnétique de M. Hadfield ont été étudiés. Les trois alliages contiennent 22,25 et 30 p. 100 de nickel et sont respectivement désignés par échantillons D, E et F; ils sont sous forme de fils. Des échantillons semblables ont été précédemment étudiés par le Dr John Hopkinson pour reconnaître l'effet d'un changement de température sur leurs propriétés magnétiques (²). L'échantillon F perd pratiquement sa susceptibilité magnétique à une température inférieure à 100° C., mais la reprend par refroidissement jusqu'à la température de la chambre. Les échantillons D et E sont magnétiques lorsqu'ils sont sous forme de fils durcis par l'étirage, mais ils deviennent non magnétiques lorsqu'ils sont portés à plus de 600° C. Contrairement à l'échantillon F, ils ne reprennent pas leur susceptibilité magnétique quand ils sont refroidis jusqu'à la température de la chambre, mais ils la reprennent soit par un nouvel étirage, soit par un refroidissement au-dessous de zéro.

Deux tables, que nous ne reproduisons pas, donnent les valeurs des principales constantes physiques de ces trois alliages, de l'acier au manganèse non magnétique de Hadfield, du nickel et du fer. La première est relative aux fils durcis par l'étirage, dans les conditions où ils étaient reçus par l'auteur ; la seconde est relative aux mêmes fils recuits. Leur comparaison permet de voir quels sont les effets de la déformation permanente résultant de l'étirage sur les propriétés physiques.

Pour quelques-unes de ces propriétés, les effets sont de la même nature pour les trois alliages que pour le fer et le nickel. Ainsi la densité de tous les échantillons est diminuée par l'étirage ; il en est de même de la rigidité. Le frottement moléculaire interne, déduit du décrément logarithmique des arcs de torsion dans les oscillations des fils, est augmenté. Mais, tandis que la résistance spécifique du fer, du nickel et de l'acier au manganèse est accrue par l'étirage, celle des alliages de nickel et de fer est considérablement diminuée. De plus, tandis que l'étirage diminue fortement la perméabilité magnétique du fer, du nickel et de l'alliage à 30 p. 100, il augmente d'une façon très appréciable celle des alliages à 22 et 25 p. 100. Le Dr J. Hopkinson a montré que des résultats analogues peuvent être obtenus en refroidissant les alliages à plusieurs degrés au-dessous de zéro. Quant à l'acier au manganèse, ses propriétés magnétiques ne peuvent lui être restituées par l'étirage.

Relativement aux propriétés physiques elles-mêmes, en dehors des effets des déformations mécaniques sur ces propriétés, il a été constaté que ces alliages nickel-fer ont une élasticité longitudinale et une élasticité de torsion moindres que le fer et le nickel purs ; ils ont aussi un frottement interne moins considérable. Ce dernier fait est surtout montré par l'alliage à 25 p. 100 qui, lorsqu'il est recuit et non magnétique, possède un frottement moléculaire interne inférieur au quart de celui du fer ou du nickel. Pour des forces magnétisantes comprises entre 0,8 et 2 unités C G S l'alliage contenant 30 p. 100 de nickel possède une perméabilité magnétique supérieure à celle du fer, mais pour des forces magnétisantes plus intenses, c'est celle du fer qui est la plus grande. Les deux autres alliages sont, lorsqu'ils sont recuits, aussi non magnétiques que l'acier au manganèse de Hadfield.

Les effets temporaires d'une traction méca-

(¹) *Proceedings of the Royal Society*. t. LVI. p. 103-108 ; 1894.
(²) Hopkinson *Roy. Soc. Proc.* t XLVIII. p. 1-13.

nique longitudinale et ceux d'une force magnétique sur quelques propriétés physiques sont indiqués dans un dernier tableau que nous reproduisons. Dans la colonne A se trouvent les variations de la résistance spécifique par unité produites par une traction longitudinale de 1 gramme-poids par cm^2; dans la colonne B sont les variations de la même quantité sous l'influence d'une force magnétisante de une unité C G S. La colonne C contient les variations du pouvoir thermoélectrique par unité produites par une traction longitudinale de 1 gramme-poids par cm^2. La colonne D donne les variations de la même quantité sous l'influence d'une force magnétisante de une unité C G S. Les signes — contenus dans ces deux dernières colonnes indiquent que le pouvoir thermoélectrique, qu'il soit primitivement positif ou négatif, décroît *numériquement*. Les nombres marqués d'un astérisque ont été obtenus avec des fils durcis par l'étirage ; les autres sont relatifs aux fils recuits.

Il résulte de ce tableau que la traction longitudinale produit sur la résistance spécifique et le pouvoir thermoélectrique des alliages, un effet intermédiaire à celui qu'elle produit sur le fer pur et sur le nickel pur. Les forces magnétisantes employées pour obtenir les résultats des colonnes B et D étaient, pour la plupart, comprises entre 40 et 80 unités C G S, et les résultats indiqués se rapportent seulement aux effets élastiques de la force, effets qui sont approximativement proportionnels à la force elle-même. Ces effets élastiques sont, par rapport à la variation de l'induction magnétique, beaucoup plus grands que les effets résiduels. Les variations de la résistance thermoélectrique, produites par une force magnétique de une unité C G S, sont dans tous les cas, énormément plus grandes que celles que produit une force mécanique de une unité C G S

Les effets des forces mécaniques sur la perméabilité magnétique des différents alliages fer-nickel ont été étudiés complètement. D'une façon générale, ces effets sont intermédiaires entre ceux que l'on obtient avec le fer et le nickel purs.

J. B.

Tableau I.

INFLUENCE DE LA TRACTION MÉCANIQUE ET DE L'AIMANTATION SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU FER ET DE SES ALLIAGES.

Échantillons	A	B	C	D
D, 22 p. 100 de Ni.	$+ 7{,}53 \times 10^{-10}$	$+ 3{,}06 \times 10^{-6}$*	$- 27 \times 10^{-10}$*	$- 38{,}9 \times 60^{-6}$*
E, 25 p. 100 de Ni.	+ 6,64	+ 1,48*	— 21*	— 38,3*
F, 30 p. 100 de Ni.	— 1,34	+ 4,56*	— 30*	— 155,0*
Acier au manganèse	+ 11,30	+ 0,03*	+ 5*	. . . . .
Nickel.	— 40,80	+ 80,70	—	—
Fer.	+ 13,23	+ 23,35	. . . . .	. . . . .
Corde de piano.			+ 22*	+ 68,6*

Sur quelques phénomènes observés dans les tubes à vide, par Sir David Salomons (1).

L'objet de ce Mémoire est, en premier lieu, d'indiquer les procédés permettant d'obtenir à volonté un nombre déterminé de bandes obscures et brillantes dans un tube à vide, ce qui, suivant l'auteur, n'a été encore indiqué par personne, et, en second lieu, de décrire un grand nombre de phénomènes intéressants qui se rapportent à la production des bandes en général.

L'appareil employé pour la production du courant comprend un moteur à courant continu mettant en mouvement un alternateur de laboratoire de Pyke et Harris du plus petit modèle. On peut faire varier la force électro-

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 229-250 ; 1894.

motrice du courant alternatif ainsi produit en faisant varier soit la vitesse de rotation, soit l'intensité du courant excitateur; les limites que l'on peut obtenir sont 0 et 100 volts; l'intensité maxima est 3 ampères. La pression de ce courant est élevée au moyen d'un transformateur à huile de Pyke et Harris ou avec un transformateur Salomons et Pyke.

Généralement on commençait les expériences avec des courants alternatifs lents et, par conséquent de faible force électromotrice; on augmentait peu à peu le nombre des alternances, ce qui augmentait en même temps la force électromotrice, et l'on observait les modifications qui en résultaient dans les phénomènes présentés par les tubes.

Ces tubes étaient ordinairement de forme allongée. Beaucoup d'entre eux contenaient divers objets tels que disques de verre, cylindres de verre et autres accessoires ayant pour but de modifier la nature de la décharge électrique et que l'auteur appelle déflecteurs (*deflectors*), faute de trouver un meilleur terme. Ces tubes contenaient de l'air raréfié jusqu'à une pression de 0, 5 mm. de mercure environ. D'ailleurs l'auteur a constaté que l'on pouvait faire varier la pression dans d'assez larges limites, pourvu que la décharge puisse se produire, sans modifier l'apparence des phénomènes.

Avec ces divers tubes l'auteur a effectué un très grand nombre d'expériences (au moins un millier); il décrit quatorze des plus remarquables dans son Mémoire et indique comment, en faisant varier la force électromotrice, on peut faire varier le nombre de bandes. Ne pouvant reproduire ces descriptions, nous nous bornerons à indiquer les conclusions qu'il en tire.

« Les bandes s'obtiennent plus facilement dans des petits tubes que dans des grands; elles sont également plus accentuées dans les petits tubes, probablement à cause de l'inégalité du diamètre de ces tubes.

« Dans la production de ces bandes, le verre du tube lui-même semble jouer un rôle, car les bandes sont difficiles à produire quand elles ne touchent pas le verre du tube.

« Un courant excessivement faible produit des bandes qui, le plus souvent, cessent d'être visibles quand le courant augmente un peu et reparaissent quand le courant continue à croître. L'auteur croit que, dans toutes les recherches antérieures, on a trouvé que les bandes ne pouvaient être produites que par le passage d'un courant intense. Ses expériences prouvent le contraire. La raison probable est qu'avec les appareils employés par ses devanciers il n'était pas facile de produire des courants assez faibles. L'auteur pense que la disparition des bandes produite par l'augmentation du faible courant, n'est d'ailleurs qu'une illusion d'optique; les bandes existent, mais elles sont trop peu nettes pour être distinguées, peut-être parce que les bandes sombres sont si étroites, qu'elles échappent à l'observation.



Fig. 1. — Explication des stratifications.

« Quand une décharge électrique se produit dans un grand tube qui contient un diaphragme percé d'un trou, il semble se produire fréquemment un effet de poussée (*forcing effect*). Les bandes brillantes qui sont produites au trou du diaphragme semblent être poussées à travers le trou vers la partie du tube qui a la plus grande longueur. Ce phénomène est mentionné parce qu'il est capable de masquer plusieurs effets si le courant n'est pas convenablement réglé. « Il n'est pas impossible que les bandes noires qui succèdent aux premières lueurs produites par un courant très faible soient dues à une illusion d'optique et soient en réalité des bandes brillantes; ce qui semble constituer les bandes brillantes serait l'effet d'une superposition produisant une lumière d'intensité double de celle des bandes appelées bandes obscures. Les figures 1 et 2 expliquent ce phénomène. Dans la figure 1 on voit les bandes brillantes A séparées par des espaces obscurs B; dans la figure 2 les bandes A sont superposées dans

les régions B qui deviennent des bandes brillantes, les régions A paraissant maintenant obscures par contraste.

« Par divers artifices, on peut produire dans un large tube des bandes n'occupant qu'une faible portion de la section, au moins autant que l'œil peut en juger.

« En employant les tubes de Crookes qui servent aux expériences sur la matière radiante, on peut, si l'on se place dans des conditions convenables, produire des stries dans ces tubes.

« Dans des tubes munis d'électrodes extrêmement petites et paraissant incapables de



Fig. 2. — Explication des stratifications.

donner des stries, on peut toutefois en observer avec des courants très faibles.

« Le tube, quand il agit comme un condensateur, laisse passer un courant plus intense.

« D'après les considérations précédentes, il n'est pas impossible, que, ainsi qu'on l'a soutenu, les bandes consistent en une série de décharges à travers le tube; la nature de ces décharges peut être modifiée par l'introduction d'accessoires convenables dans les tubes; pour examiner la nature de ces décharges il est préférable d'opérer avec des courants très faibles, c'est-à-dire avec des courants si faibles que, si on les diminuait, le tube cesserait de donner des phénomènes lumineux. »

J. B.

Influence de l'aimantation sur les dimensions d'anneaux de fer dans des directions perpendiculaires à l'aimantation, et sur les volumes des anneaux, par Shelford Bidwel. (¹)

Dans une récente communication (²) l'auteur indiquait les résultats de ses expériences sur l'influence de l'aimantation sur le diamètre d'anneaux en fer dur ou recuit. Dans celle-ci, il décrit de nouvelles expériences sur la variation de l'épaisseur de l'anneau.

Les anneaux employés sont des cylindres creux d'environ 6 cm. de diamètre, de 3 cm. de hauteur (épaisseur de l'anneau) et de 0,4 cm. d'épaisseur. A ces anneaux sont soudées quatre tiges de laiton ; deux sont en ligne droite avec un diamètre de l'anneau ; les deux autres dans le prolongement d'une même génératrice de la surface cylindrique et sont, par suite, perpendiculaires aux premières. Chaque anneau est enfermé dans une cavité annulaire creusée dans un cylindre creux en bois ; sur la surface extérieure de cette monture est enroulé un fil où circule le courant magnétisant. Il est ensuite placé de manière que deux des tiges soient verticales, la tige inférieure reposant sur un support fixe et la tige supérieure appuyant contre l'extrémité d'un levier qui amplifie le déplacement longitudinal de la tige et permet ainsi de mesurer la variation du diamètre ou de l'épaisseur de l'anneau.

Deux anneaux ont été étudiés ; l'un en fer dur (anneau I), l'autre en fer recuit (anneau II).

Les variations de l'épaisseurde ces an neaux (transversalement à la magnétisation) sont indiquées dans le tableau I et par les courbes

Tableau I.

Variation de longueur d'anneaux de fer aimantés.

Anneau I (recuit)		Anneau II (dur)	
Force magnétisante en unités CGS	Allongement en dix-millioniémes	Force magnétisante	Allongement
6	— 9	7	— 5
17	— 18	18	— 13,5
41	— 23	47	— 21
59	— 21	69	— 18
75	— 17	82	— 17
116	— 13	117	— 11
151	— 9	155	— 7
220	— 4	242	2,5
306	8	342	14
405	17	451	23
509	23	570	27

de la figure 1. On remarquera que celles-ci ont la même forme dans les deux cas ; le recuit n'a donc aucun effet ou pas d'effet appréciable.

(¹) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 94-99 ; 1894.

(²) Shelford Bidwell. *Proc. of the Roy. Soc.*, t. LV, p. 228. *La Lum. Elect.*, t. LII, p. 626.

Sous l'action de forces magnétisantes croissantes les anneaux se rétrécissent d'abord, puis reprennent leur épaisseur initiale, et enfin deviennent plus épais qu'avant l'aimantation.

D'après l'auteur, les seules expériences antérieures relatives aux changements de dimensions du fer sous l'influence d'une aimantation transversale sont celles de Joule [1]. Celui-ci se servait d'un tube de fer de 1 yard (91,44 cm.) de long et de 3/4 de pouce (1,9 cm.) de diamètre moyen; un fil isolé passait dans l'intérieur du tube et était replié sur la surface

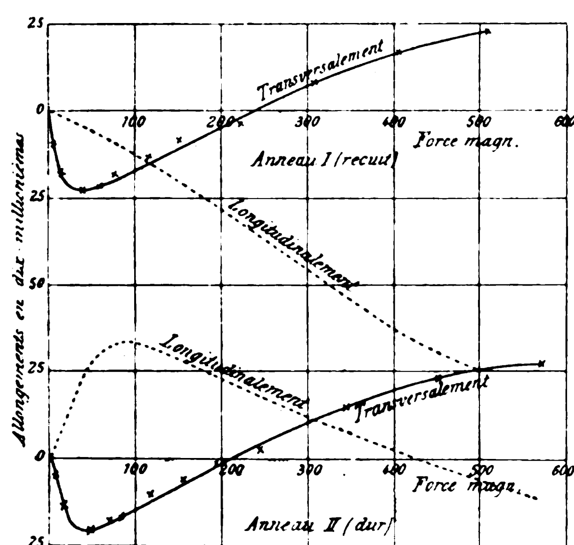


Fig. 1. — Courbes des variations de longueur d'anneaux de fer aimantés.

extérieure de manière à former une bobine magnétisante de un tour et demi. Le plus puissant courant qu'il employait semble avoir été de 12 ampères, intensité à laquelle correspond une force magnétisante d'environ 8 unités CGS. Avec ce courant il trouva une diminution de la longueur du tube de 7 dix-millionièmes, résultat qui concorde très bien avec les résultats obtenus par l'auteur.

Rappelons que, d'après les résultats communiqués antérieurement, le diamètre d'un anneau recuit diminue d'une façon continue quand on aimante l'anneau de plus en plus fortement, tandis que celui d'un anneau trempé commence par augmenter pour diminuer ensuite quand la force magnétisante augmente. Ces effets sont indiqués par les courbes ponctuées de la figure 1.

En combinant les résultats des anciennes et des nouvelles expériences, on peut en déduire la variation de volume produite par l'aimantation. Si l'on appelle k l'allongement (positif ou négatif) par unité de longueur dans la direction des lignes de force et par l l'allongement suivant la direction perpendiculaire, on a pour le coefficient d'augmentation du volume, $k + 2l$, en négligeant les termes du second degré. En calculant ce coefficient pour diverses valeurs de la force magnétisante, on obtient les nombres du tableau II auquel correspondent les courbes de la figure 2. On voit que le volume de l'anneau recuit diminue brusquement, passe par un minimum pour une force magnétisante de 50 unités environ et croît ensuite lentement. L'anneau en fer dur commence aussi par diminuer brusquement de volume, mais il reprend son volume primitif pour une force magnétisante de 90 unités.

TABLEAU II.

Variation de volume d'anneaux de fer aimantés.

FORCE MAGNÉTISANTE en unités CGS	ACCROISSEMENTS ET DÉCROISSEMENTS du volume en dix-millionièmes	
	Anneau I (recuit)	Anneau II (dur)
10	— 27	— 11
20	— 42	— 20
30	— 47	— 20
40	— 51	— 17
60	— 51	— 9
80	— 48	— 2
100	— 46	3
140	— 42	11
180	— 39	17
220	— 37	22
260	— 35	26
300	— 32.5	30
400	— 30	40
500	— 29	44

L'auteur pense que la plupart des anneaux et des tubes doivent se comporter comme ce dernier anneau, car l'anneau recuit employé dans les expériences est le seul échantillon de fer qui ait montré une contraction dans le sens

[1] JOULE. *Scientifics Papers*, p. 263.

des lignes de force, sous l'influence des plus petites forces magnétisantes.

L'auteur rappelle ensuite que des expériences ont été faites antérieurement par Joule, Barrett et Knott, sur les variations de volume accompagnant l'aimantation.

Joule [1] conclut de ses expériences que le volume d'une barre de fer n'est pas affecté par l'aimantation, même lorsqu'on emploie un courant magnétisant « capable de saturer le fer ». Si l'on tient compte qu'à cette époque on croyait la saturation atteinte avec une force magnétisante de 80 à 100 unités et si l'on admet que la force magnétisante employée

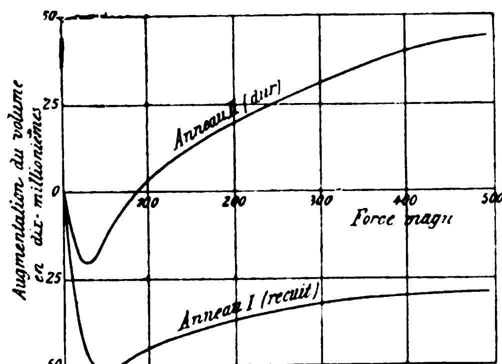


Fig. 2. — Variation du volume d'anneaux de fer aimantés.

par Joule avait à peu près cette valeur, l'examen de la courbe de la figure 2, relative au fer non recuit indique la raison probable pour laquelle Joule n'a pu déceler aucune variation du volume : c'est, qu'en effet, le volume correspondant à une force magnétisante de 90 unités est le même qu'avant l'aimantation.

Barrett [2] qui opérait de la même manière que Joule, « en enfermant les barres dans un récipient rempli d'eau muni d'un tube capillaire et en entourant le récipient d'une puissante hélice magnétisante », obtint aussi un résultat négatif, peut-être pour la même raison.

Knott [3] se servait de tubes de fer de 45,7 cm. de longueur, de 3,84 cm. de diamètre extérieur et de diamètres intérieurs variant de 0,7 cm. à 3,19 cm. « Chaque tube était fermé à sa partie inférieure et portait à sa partie supérieure un écrou fortement vissé où se trouvait engagé un tube capillaire très fin. L'écrou était ajusté sous l'eau, de manière que tout le volume intérieur du tube et une partie du tube capillaire soient remplis d'eau. Quand le tube était placé verticalement suivant l'axe d'une bobine magnétisante, les changements de volume étaient mesurés par les déplacements du ménisque liquide dans le tube capillaire. » « Quelques expériences furent faites sur la variation du volume extérieur de quelques tubes qui, dans ce but, étaient placés dans un tube de laiton à parois minces. Par suite du peu d'épaisseur de ses parois, le tube de laiton cédait, de sorte que les résultats ne sont pas certains. Mais il ne pouvait y avoir aucun doute, qu'avec les échantillons de fer étudiés, il n'y eût de larges variations de volume. »

Les variations de volume intérieur observées par Knott paraissent, pour un tube de grand diamètre intérieur, être de la même nature que celles que l'auteur a observées avec l'anneau non recuit; tandis que celles qui se rapportent à un tube de faible diamètre intérieur ressemblent à celles qu'il a constatées avec l'anneau recuit. Toutefois, M. Shelford Bidwell ne pense pas qu'il soit possible d'établir de comparaison rigoureuse entre ses propres résultats et ceux de Knott. J. B.

Influence des courants électriques intérieurs sur la propagation de l'aimantation du fer, par J. Hopkinson [1].

« On sait que, si l'on renverse le courant magnétisant dans un électro-aimant cylindrique, l'induction n'est pas renversée instantanément, qu'un certain temps s'écoule avant qu'elle atteigne sa valeur normale, qu'elle se renverse plus tard dans la région centrale

(1). Joule. *Scientifics Papers*, p. 236.
(2). Barrett. *Nature*, t. XXVI, p. 485.
(3). Knott. *Edin. Roy. Soc. Proc.*, 1891, p. 315; 1892, p. 85, 249; *Brit. Assoc. Rep.*, 1892, p. 659.

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 108.

que dans la région superficielle du noyau et que ce dernier retard est dû aux courants électriques induits dans le fer. L'objet de la présente communication est la recherche de ces effets.

« L'électro-aimant employé avait 4 pouces de diamètre et formait un circuit magnétique fermé. Sur une partie de sa longueur, le cylindre de 4 pouces de diamètre était formé d'un noyau de fer entouré de deux tubes concentriques très rapprochés. Des bobines exploratrices en fil de cuivre fin étaient placées entre les tubes. On observait les courants induits dans ces bobines au moment du renversement du courant dans la bobine principale. Dans quelques cas ces courants durent pendant plus d'une demi-minute.

« Des conclusions relatives à des cylindres ayant des diamètres différents de 4 pouces peuvent être tirées des résultats obtenus. La comparaison de deux cylindres de différents diamètres montre que les phénomènes sont semblables, mais qu'ils sont proportionnels aux carrés des diamètres des cylindres. Cette considération et les résultats des expériences permettent de se rendre compte des effets des courants locaux dans les noyaux des transformateurs et dans les armatures de machine dynamo-électrique. » J. B.

Sur l'emploi de l'électromètre à quadrants comme instrument différentiel, par Riccardo Arno [1].

Soient A, B, C trois points d'un circuit traversé par un courant (fig. 1); V_A, V_B, V_C les potentiels en ces points. Joignons A à deux des quadrants Q_1 Q_1' d'un électromètre, C aux deux autres quadrants et B à l'aiguille. Le moment du couple de torsion est

$$W = k\left[(V_A - V_B)^2 - (V_C - V_B)^2\right] \qquad (1)$$

Ce moment est nul quand

$$V_A - V_B = -(V_B - V_C),$$

[1] *Rend. della. R. Accad. dei Lincei*, 5e série t. III, p. 152-156.

et, par conséquent, la déviation de l'aiguille est nulle quand la différence de potentiel entre A et B est égale en valeur absolue à la différence de potentiel entre B et C.

Il en sera encore de même si $V_A - V_B$ et $V_B - V_C$ sont les différences de potentiel efficaces résultant du passage d'un courant périodique dans le conducteur ABC. En effet si v_a, v_b, v_c sont les potentiels en A, B, C, à un certain instant, le moment du couple de torsion à ce même instant est

$$w = k\left[(v_a - v_b)^2 - (v_c - v_b)^2\right],$$

et l'on a pour la valeur moyenne de ce couple

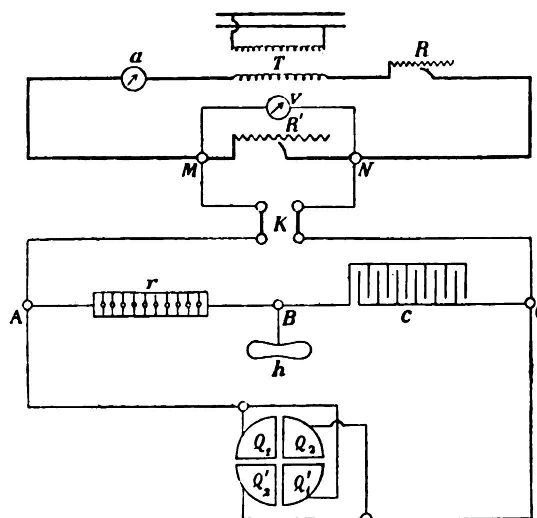


Fig. 1. — Emploi de l'électromètre à quadrants comme instrument différentiel.

pendant la durée T d'une période

$$\frac{1}{T}\int_0^T w dt = k\left[\frac{1}{T}\int_0^T (v_a - v_b)^2 dt - \frac{1}{T}\int_0^T (v_c - v_b)^2 dt\right],$$

égalité qui se réduit à (1) si l'on désigne par $V_A - V_B$ et $V_B - V_C$ les différences de potentiel efficaces.

L'électromètre à quadrants peut donc servir à reconnaître facilement l'égalité des deux différences de potentiel effectives ou efficaces.

« Cette méthode, que l'on peut nommer *méthode de l'électromètre différentiel*, peut recevoir diverses applications utiles, telles que la mesure de la capacité électrosta-

tique et celle de l'inductance. Pour ces mesures il est nécessaire d'avoir, outre l'électromètre à quadrants, un appareil permettant de produire une différence de potentiel alternative entre les points A et C et un rhéostat AB sans self-induction comme, par exemple, une boîte de résistances ordinaire.

« On dispose cette boîte de résistances entre les points A et C en série avec les condensateurs ou avec la bobine dont on veut la capacité ou l'inductance. On met les deux points A et C en communication avec les quadrants opposés de l'électroscope et le point B en communication avec l'aiguille. Les choses étant ainsi disposées, l'équipage mobile de l'appareil dévie, en général, d'un certain angle, mais on peut toujours, en modifiant par tâtonnement la résistance AB, faire revenir l'aiguille dans sa position d'équilibre. De la valeur r de la résistance insérée entre A et B quand cette condition est satisfaite, on déduit immédiatement la capacité c du condensateur ou l'inductance L de la spirale en expérience.

« Si I est l'intensité efficace du courant alternatif, on peut écrire

$$V_A - V_B = rI,$$

En outre, en commençant par le cas de la mesure de la capacité électrostatique d'un condensateur, on a, en supposant sinusoïdale la force électromotrice alternative qui agit dans le circuit,

$$V_B - V_C = \frac{1}{2\pi nc} I,$$

où π est le rapport de la circonférence au diamètre et n la fréquence du courant alternatif. Puisque, quand l'aiguille de l'électromètre est au zéro,

$$V_A - V_B = V_B - V_C.$$

on en déduit immédiatement

$$r = \frac{1}{2\pi nc},$$

et

$$c = \frac{1}{2\pi nr}.$$

si r est exprimé en ohms, c se trouve exprimé en farads. Si nous voulons que c se trouve exprimé en microfarads, ce qui est plus commode en pratique, nous écrirons

$$c = \frac{10^6}{2\pi nr}$$

« Dans le cas de la mesure de l'inductance d'une spirale on a, en supposant encore sinusoïdale la force électromotrice alternative qui agit dans le circuit et en désignant par r' la résistance réelle de la spirale considérée,

$$V_B - V_C = \sqrt{r'^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}\, I.$$

par suite

$$\sqrt{r'^2 + 4\pi^2 n^2 L^2} = r,$$

d'où

$$L = \frac{1}{2\pi n}\sqrt{r^2 - r'^2},$$

égalité qui donne L en henrys, si r et r' sont exprimés en ohms.

« Comme exemple de l'application de la méthode, je crois utile de donner les résultats de deux expériences sur deux condensateurs à mica, l'un de 1/3 de microfarad de la maison Elliott de Londres, l'autre de 1/2 microfarad de la maison Carpentier de Paris.

« La force électromotrice alternative, nécessaire pour produire la différence du potentiel alternative efficace $V_A - V_C$, était engendrée dans la spirale secondaire d'un transformateur Ganz T, dont la spirale primaire était alimentée par le courant alternatif d'un alternateur Thury de la Société piémontaise d'Électricité. Comme on le voit sur la figure, les choses étaient disposées de manière que, pour avoir entre les extrémités de la spirale secondaire de T une différence de potentiel constante, on puisse, au moyen de deux rhéostats R et R', varier un peu la différence de potentiel alternative efficace $V_A - V_C$, représentée par la différence de potentiel entre les extrémités M et N du rhéostat R' et mesurée au moyen d'un voltamètre de Cardew v. En a est représenté un ampèremètre; en K un interrupteur à mercure, en r une boîte de résistances de la maison Carpentier, en c le condensateur en expérience, en $Q_1\, Q'_1$ et $Q_2\, Q'_2$

les deux paires de quadrants opposés d'un électromètre de Mascart et en *g* l'aiguille de l'instrument, supposée, pour plus de clarté dans la figure, en dehors de l'appareil. Les lectures étaient faites par la méthode de Thomson avec un miroir concave et une échelle transparente; la boîte métallique de l'instrument était mise en communication avec le sol et tous les appareils étaient, au moyen de blocs de paraffine et de plaques d'ébonite, convenablement isolés.

« Les expériences furent effectuées avec une différence de potentiel alternative efficace entre les points A et C à 100 volts. La fréquence du courant alternatif était 42. Dans ces conditions l'aiguille de l'électromètre revenait dans sa position d'équilibre pour une valeur de *r* égale à 11.180 ohms pour le condensateur de 1/3 de microfarad et égale à 7.820 ohms pour le condensateur de 1/2 microfarad.

« On déduit de là, dans le premier cas,

$$c = 0{,}339 \text{ microfarad,}$$

et dans le second,

$$c = 0{,}485 \text{ microfarad.}$$

« Et puisque, aussi bien dans la première que dans la seconde expérience, on observait une déviation sensible de l'image lumineuse sur l'échelle quand on faisait varier la résistance *r* de 10 ohms, l'approximation de ces résultats et des 0,0004 microfarad (0,12 p. 100) pour la première expérience et 0,0006 microfarad (0,12 p. 100) pour la seconde expérience ». J. B.

Variation du potentiel et de l'intensité du courant dans un circuit ouvert se mouvant dans un champ magnétique uniforme, par Luigi Lombardi [1].

Quand un système de conducteurs se meut dans un champ magnétique, il s'y développe une force électromotrice dont la valeur est exprimée par le nombre de lignes de forces que coupe le conducteur pendant l'unité de temps. Si la forme du conducteur et la loi de son mouvement ne sont pas simples, on est conduit, même dans le cas où le champ magnétique est uniforme, à des expressions compliquées pour la valeur du potentiel et pour celle de l'intensité du courant en un point du conducteur mobile. Dans le cas particulier où le conducteur est un simple fil rectiligne tournant avec une vitesse uniforme autour d'un axe parallèle à ce fil et perpendiculaire au champ magnétique, ces expressions sont assez simples et, selon l'auteur, leur discussion fournit quelques résultats intéressants.

Soit donc P_1P_2 (fig. 1) le conducteur de longueur *l* situé à une distance *r* de l'axe OO autour duquel il tourne avec une vitesse uniforme de *n* tours par seconde, et soit H l'intensité du champ magnétique supposé perpendiculaire au plan de la figure. Si l'on prend pour origine du temps l'instant où le fil est dans le plan de la figure, l'angle de ce plan avec celui qui passe par l'axe et le fil est à l'instant *t*,

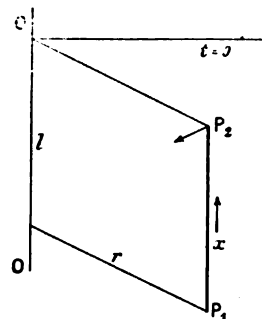


Fig. 1.

$$\delta = 2\pi nt$$

La force électromotrice qui se développe dans le fil est, à chaque instant, indépendante de la position du point considéré sur le conducteur. Sa valeur par unité de longueur à l'instant *t* est :

$$K = H \sin \delta \, r \frac{d\delta}{dt} = 2\pi nr \text{ H} \sin (2\pi nt)$$

Sa loi de variation est donc sinusoïdale, et, si l'on désigne par K_0 l'amplitude, on a

$$K = K_0 \sin (2\pi nt)$$

---

(1) *Il Nuovo Cimento* (3), t. XXXVI, p. 235-249, novembre 1894.

En appelant k la conductibilité électrique spécifique du conducteur et s sa section on a $w = \frac{1}{ks}$ pour la résistance par unité de longueur. Par suite, si p est le potentiel et i l'intensité du courant en un point x du conducteur, on a :

$$K\,dx = \frac{dp}{dx}\,dx + iw\,dx,$$

d'où :

$$i = \frac{1}{w}\left(K = \frac{dp}{dx}\right).$$

Dans le cas où le champ est uniforme, on déduit de cette égalité

$$\frac{di}{dx}\,dx = -\frac{1}{w}\,\frac{d^2p}{dx^2}\,dx.$$

Mais le premier membre de cette nouvelle égalité représente l'excès de la quantité d'électricité qui sort pendant l'unité de temps d'un élément dx du conducteur sur celle qui entre dans cet élément pendant le même temps ; il est donc égal au produit, changé de signe, de la capacité de cet élément par l'augmentation $\frac{dp}{dt}$ du potentiel par unité de temps. Si l'on désigne par c la capacité du conducteur par unité de longueur, on a

$$cw\,\frac{dp}{dt} = \frac{d^2p}{dx^2}, \qquad (1)$$

équation différentielle aux dérivées partielles de la même forme que celle qui exprime la propagation de l'électricité le long d'un fil rectiligne parfaitement isolé et dépourvu de self-induction.

Dans le cas où le champ magnétique n'est pas uniforme et dépend de l'abscisse x du point considéré, on a

$$\frac{di}{dx}\,dx = \frac{1}{w}\left(\frac{dK}{dx} - \frac{d^2p}{dx^2}\right)dx,$$

et par suite

$$cw\,\frac{dp}{dt} = \frac{d^2p}{dx^2} - \frac{dK}{dx}.$$

Si l'on veut tenir compte de la self-induction du fil, on a, en appelant q le coefficient de self-induction par unité de longueur

$$i = \frac{1}{w}\left(K - \frac{dp}{dx} - q\,\frac{di}{dt}\right),$$

et l'on arrive à l'équation différentielle

$$cw\,\frac{dp}{dt} + cq\,\frac{d^2p}{dt^2} = \frac{d^2p}{dx^2} - \frac{dK}{dx}.$$

Mais, à moins que la fréquence du courant ne soit très grande, la self-induction n'a pas grande importance pratique et, comme, d'autre part, il est facile d'obtenir un champ magnétique sensiblement uniforme, l'auteur se borne à considérer l'équation (1).

A cette équation doivent être ajoutées les équations auxiliaires données par les conditions limites. Aux extrémités du fil, l'intensité du courant est nulle ; par suite, la variation du potentiel par rapport à l'abscisse est, pour ces points, égale à la force électromotrice d'induction. On a donc pour les équations auxiliaires

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_{x=0} = K, \qquad (2)$$

et

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_{x-l} = K. \qquad (3)$$

L'équation (1) admet pour solution

$$p = Ae^{ax + ibt}$$

où

$$b = 2\pi n$$

et

$$a^2 = i \times 2\pi ncw.$$

Si l'on pose

$$a = \lambda + i\mu,$$

avec la condition

$$\lambda = \mu = \pm\sqrt{\pi ncw},$$

l'expression de p devient

$$p = A\,e^{\lambda x}\,e^{i(\lambda x + 2\pi nt)}$$

dont la partie réelle, la seule qui soit à considérer au point de vue physique, est

$$p = A\,e^{\lambda x}\sin(2\pi nt + \lambda x + \alpha).$$

Aux deux valeurs réelles, positive et négative, de λ correspondent deux solutions particulières de l'équation différentielle ; la solution générale de celle-ci est donc exprimée par

$$p = A_1 e^{-\lambda x}\sin(2\pi nt - \lambda x + \alpha_1) + A_2 e^{\lambda x}\sin(2\pi nt + \lambda x + \alpha_2), \qquad (I)$$

expression contenant quatre constantes que l'on détermine au moyen des équations limites.

Pour faire cette détermination on tire de (I) l'expression de $\frac{dp}{dx}$ et l'on exprime que cette dérivée se réduit à K pour $x = o$ et $x = l$. On obtient ainsi deux égalités qui, devant être satisfaites quel que soit t, donnent quatre équations lorsqu'on exprime cette condition en écrivant que les coefficients de sin $(2\pi nt)$ et de cos $(2\pi nt)$ sont nuls. En portant dans (I) les valeurs des quatre constantes déduites de ces équations, on obtient en définitive

$$p = \left\{ \begin{array}{l} e^{-\lambda x}(C_1 \cos \lambda x + S_1 \sin \lambda x) \\ + e^{\lambda x}(C_2 \cos \lambda x - S_2 \sin \lambda x) \end{array} \right\} \sin 2\pi nt - \left\{ \begin{array}{l} e^{-\lambda x}(C_1 \sin \lambda x - S_1 \cos \lambda x) \\ - e^{\lambda x}(C_2 \sin \lambda x + S_2 \cos \lambda x) \end{array} \right\} \cos 2\pi nt \qquad (I_a)$$

où C_1, C_2, S_1, S_2 sont des fonctions dont la première a pour expression

$$C_1 = \frac{2\pi nr\,H}{\lambda} \frac{\sin 2\lambda - (e^{\lambda l} + e^{-\lambda l}) \sin \lambda l}{e^{2\lambda l} + e^{-2\lambda l} - 2 \cos 2\lambda l} + \frac{2\pi nr\,H}{\lambda} \frac{-e^{2\lambda l} + \cos 2\lambda l + (e^{\lambda l} - e^{-\lambda l}) \cos \lambda l}{e^{2\lambda l} + e^{-2\lambda l} - 2\cos 2\lambda l}.$$

Dans les expressions des trois autres, le terme supérieur reste le même. Pour avoir S_1, il suffit de changer le signe du terme écrit sur la seconde ligne. L'expression de C_2 s'obtient en remplaçant, dans ce terme seul, $-e^{2\lambda l}$ par $+e^{-2\lambda l}$ et $\cos 2\lambda l$ par $-\cos 2 l \lambda$; celle de S_2 se déduit de C_2 par le changement du signe du second terme.

Mais pour la discussion il est souvent plus commode de mettre p sous la forme

$$p = P \sin (2\pi nt + \varphi) \qquad (I_b)$$

P étant l'amplitude maxima. L'auteur trouve que P est égale à la racine carrée de

$$e^{-2\lambda x}(C_1^2 + S_1^2) + 2(C_1C_2 + S_1S_2) \cos 2\lambda x + e^{2\lambda x}(C_2^2 + S_2^2) + 2(S_1C_2 - S_2C_1) \sin 2\lambda x,$$

et que

$$\varphi = \text{arc tg} \frac{e^{-\lambda x}(-C_1 \sin \lambda x + S_1 \cos \lambda x) + e^{\lambda x}(C_2 \sin \lambda x + S_2 \cos \lambda x)}{e^{-\lambda x}(C_1 \cos \lambda x + S_1 \sin \lambda x) + e^{\lambda x}(C_2 \cos \lambda x - S_2 \sin \lambda x)}.$$

Le potentiel étant déterminé, on peut calculer l'intensité i du courant au moyen de la formule

$$i = \frac{1}{w}\left(-\frac{dp}{dx} + K\right). \qquad (II)$$

L'auteur trouve :

$$i = -\frac{\lambda}{w}\left\{ e^{-\lambda x}\left[-(C_1 + S_1) \sin \lambda x - (C_1 - S_1) \cos \lambda x\right] + e^{\lambda x}\left[-(C_2 + S_2) \sin \lambda x + (C_2 - S_2) \cos \lambda x\right] - \frac{2\pi nrH}{\lambda} \right\} \sin 2\pi nt$$
$$- \frac{\lambda}{w}\left\{ e^{-\lambda x}\left[(C_1 - S_1) \sin \lambda x - (C_1 + S_1) \cos \lambda x\right] + e^{\lambda x}\left[(C_2 - S_2) \sin \lambda x + (C_2 + S_2) \cos \lambda x\right]\right\} \cos 2\pi nt \qquad (II_a)$$

Si l'on met cette expression sous la forme

$$i = I \sin (2\pi nt + \psi) \qquad (II_b)$$

on trouve que I est égal au produit de $\frac{\lambda}{w}$ par la racine carrée de l'expression

$$2e^{-\lambda x}(C_1^2 + S_1^2) + 2e^{-\lambda x}\frac{2\pi nrH}{\lambda}\left[(C_1 + S_1) \sin \lambda x + (C_1 - S_1) \cos \lambda x\right] + 2e^{2\lambda x}(C_2^2 + S_2^2)$$
$$+ 2e^{\lambda x}\frac{2\pi nrH}{\lambda}\left[(C_2 + S_2) \sin \lambda x - (C_2 - S_2) \cos \lambda x\right]$$
$$- 4(C_1C_2 + S_1S_2) \cos 2\lambda x - 4(S_1C_2 - S_2C_1) \sin 2\lambda x + \left(\frac{2\pi nrH}{\lambda}\right)^2.$$

Quant à la phase ψ elle est

$$\psi = \text{arc tg} \frac{\left\{ \begin{array}{l} e^{-\lambda x}\left[(C_1 - S_1) \sin \lambda x - (C_1 + S_1) \cos \lambda x\right] \\ + e^{\lambda x}\left[(C_2 - S_2) \sin \lambda x + (C_2 + S_2) \cos \lambda x\right] \end{array} \right\}}{e^{-\lambda x}\left[-C_1 + S_1) \sin \lambda x - (C_1 - S_1) \cos \lambda x\right] + e^{\lambda x}\left[-(C_2 + S_2) \sin \lambda x + (C_2 - S_2) \cos \lambda x\right] - \frac{2\pi r\,H}{\lambda}}$$

L'auteur se propose de discuter ces expressions dans un second Mémoire. J. B.

VARIÉTÉ

L'ARGON

Le 31 janvier 1895, lord Rayleigh et le professeur Ramsay ont lu à la Société Royale de Londres un mémoire contenant l'exposé de leurs recherches sur le gaz nouveau qu'ils avaient extrait de l'atmosphère et qu'ils ont nommé provisoirement *Argon* Voici le résumé de cet important travail :

Dans des travaux précédents, lord Rayleigh avait constaté que la densité de l'azote « atmosphérique » est toujours plus élevée que celle de l'azote extrait des composés chimiques. Voici les poids, en grammes, du gaz contenu dans le ballon à densité :

Azote préparé	par le bioxyde	2,3001
—	—	par le protoxyde. . . .	2,2990
—	—	par le nitrate d'ammonium purifié au rouge	2,2987
—	—	par l'urée.	2,2985
—	—	par le nitrate d'ammonium purifié à froid.	2.2987
		Moyenne.	2,2990

Ces nombres donnent pour le litre d'azote « chimique », le poids en grammes de

1,2505.

L'azote extrait de l'atmosphère a fourni les nombres suivants :

Par le cuivre au rouge (1892).	2,3103
Par le fer au rouge (1893). .	2,3100
Par l'hydrate ferreux (1894).	2,3102

d'où, finalement, pour le poids moyen du litre

1,2572.

On retrouve la première valeur en partant de l'azoture de magnésium, préparé en faisant passer de l'azote « atmosphérique » sur du magnésium chauffé. On traite cet azoture par l'eau ; l'ammoniaque produite est reçue dans de l'acide chlorhydrique, et le chlorhydrate formé est décomposé par l'hypobromite de sodium. Dans une des expériences faites, l'azote « atmosphérique » avait été obtenu sans emploi de cuivre chauffé au rouge ; l'azote « chimique » produit présentait néanmoins la densité ordinaire.

On a d'abord cherché à expliquer la légèreté relative de l'azote chimique par la présence d'impuretés. La première à soupçonner est l'hydrogène. Mais quand on introduit ce gaz à dessein et qu'on fait ensuite passer le mélange sur de l'oxyde de cuivre chauffé en rouge, la densité ne change pas; cette hypothèse est donc à rejeter. On pensa que l'azote chimique pourrait contenir des atomes libres provenant de molécules dissociées ; mais, d'une part, le passage de la décharge électrique silencieuse ne modifie pas le poids et, d'autre part, la densité d'un échantillon ne présente aucun indice de variation spontanée avec le temps; au bout de huit mois, elle n'avait pas changé.

Il semble donc prouvé que l'un des deux gaz obtenus sous le nom d'azote est un mélange; il est peu probable que ce soit vrai pour l'azote chimique, sans quoi il existerait deux espèces d'acide nitrique. L'explication la plus simple est d'admettre qu'il existe un nouvel élément dans l'air; on se heurte toutefois à ce qu'il y a d'improbable à supposer qu'un gaz qui existe dans l'atmosphère ait pu passer si longtemps inaperçu. Cavendish, s'était déjà demandé si l'azote atmosphérique est un gaz; en le soumettant, en présence de l'oxygène, à l'action des étincelles électriques, il a obtenu un résidu gazeux représentant $\frac{1}{120}$ du volume primitif; mais il n'a pas cherché à approfondir la question [1].

Lord Rayleigh a répété l'expérience de Cavendish sur une plus grande échelle. Il se servait de la bobine de Ruhmkorff de grandeur moyenne, actionnée par une batterie de cinq éléments Grove ; le gaz était contenu dans un petit tube à essai, au-dessus d'une dissolution alcaline étendue. La longueur d'étincelles la plus convenable était 5 mm. La vitesse d'absorption était de 30 c³. par heure. On trouva comme résidu de 100 c³. d'air (introduits en deux fois), après avoir absorbé l'oxygène par le pyrogallate de potasse, 0,76 c³. A la fin de l'expérience, la température s'élevait beaucoup, ainsi que la proportion de vapeur d'eau ; mais tous les doutes sur la signification du résultat disparurent quand

[1] CAVENDISH, « Experiments on Air » *Phil. Trans*, vol. LXXV, p. 372, 1785. L'expérience était d'ailleurs très lente; en une heure la quantité de gaz absorbée était de 1 c³ environ, dont deux cinquièmes d'azote.

on eut constaté que le résidu restait sensiblement proportionnel au volume primitif, même quand il était beaucoup plus petit (5 c^3).

Pour absorber l'azote de l'air on peut employer, outre l'oxygène, le bore, le silicium, le titane, le lithium, le strontium, le baryum, le magnésium, l'aluminium, le mercure et l'hydrogène (sous l'action de l'étincelle) et enfin le mélange de carbonate de baryum et de charbon à haute température. C'est le magnésium, sous forme de rubans, qui a fourni les meilleurs résultats. On a pu, en faisant passer et repasser de l'azote atmosphérique sur du magnésium, obtenir, en dix jours, 1.500 c^3 environ d'un gaz qu'on recueillait sur le mercure. On le recevait dans un second gazomètre, après passage sur de la chaux sodée, de l'anhydride phosphorique, du magnésium, de l'oxyde de cuivre, et de nouveau, sur les deux premiers absorbants. Cette seconde opération réduisit son volume à 200 c^3 environ et amena sa densité à 16,1 (par rapport à l'hydrogène). Un nouveau traitement éleva la densité à 19,09. Enfin, on réduisit encore le volume en soumettant une petite quantité de ce gaz, mélangé à l'oxygène, à l'action des étincelles électriques. La densité calculée était alors 20,00. Le spectre présentait, outre les bandes de l'azote, des raies nouvelles.

Des expériences d'atmolyse, d'ailleurs incomplètes, ont montré que l'air qui a traversé des parois poreuses contient un azote plus lourd que celui de l'air ordinaire.

Il restait à montrer que l'azote chimique ne contenait pas le gaz résiduel obtenu dans les expériences précédentes. C'est ce que l'on a constaté en soumettant cet azote à l'action des étincelles, en présence de l'oxygène; le résidu fut, dans plusieurs expériences, incomparablement plus petit (dans un cas 3,5 c^3 au lieu de 150), que celui qu'aurait donné l'azote atmosphérique et s'explique facilement par la quantité d'eau nécessaire pour la manipulation de grandes quantités de gaz.

La préparation de l'argon sur une grande échelle s'est faite au moyen du magnésium, par le procédé déjà décrit. Avec l'oxygène, on a pu, par l'emploi d'une machine de Méritens, dont on transformait les courants pour obtenir un potentiel élevé, arriver à une vitesse d'absorption de 3 litres à l'heure.

Ce procédé de préparation a permis de déterminer d'abord la proportion en volume de l'oxygène dans l'air, puis celle de l'argon. De ce rapport et de la comparaison des densités de l'azote chimique et de l'azote atmosphérique on a tiré, pour la densité de l'argon, le nombre 20,6. Une expérience faite sur 400 c^3 de gaz mélangé à l'oxygène, a donné 19,7. Enfin, comme on l'a dit, le premier échantillon préparé par le magnésium a donné 20. On n'a pas encore pu faire de détermination précise sur une quantité suffisante de gaz pur.

Vers 13°, l'eau dissout environ 4 volumes d'argon pour 100, ce qui correspond à une solubilité 2,5 fois supérieure à celle de l'azote. On devait donc s'attendre à trouver un excès d'argon dans les gaz extraits de l'eau de pluie. C'est ce que l'on a vérifié par des mesures de densité de l' « azote » de l'eau.

Le rapport des chaleurs spécifiques a été déduit de la mesure de la vitesse du son (comparée à la vitesse dans l'air) dans des tubes de 2 mm. et de 8 mm. de diamètre. On a trouvé 1,65 et 1,61. Des expériences de vérification ont donné, pour l'acide carbonique, 1,276 et pour l'hydrogène, 1,391, les valeurs moyennes trouvées précédemment étant 1,288 et 1,402.

Il en résulte que le rapport des chaleurs spécifiques pour l'argon ne diffère pas sensiblement de la valeur 1.66 qu'il a pour tous les gaz dont toute l'énergie est de translation. La vapeur de mercure était jusqu'ici le seul corps présentant cette propriété.

L'argon a manifesté une inertie chimique complète ; nous renverrons au mémoire pour l'énumération des nombreux essais tentés, dont aucun n'a abouti.

Quelle est la nature de l'argon ? Nous avons vu que la mesure du rapport des chaleurs spécifiques indique qu'il est monoatomique ; c'est donc un élément ou un mélange d'éléments. Son poids atomique, égal au poids moléculaire, serait 40. On ne lui trouve pas de place dans

la classification de Mendiliéff. Les auteurs exposent quelques considérations très hypothétiques d'après lesquelles, en considérant l'argon comme un mélange de deux éléments, on arriverait à placer ces deux éléments Mais les proportions seraient telles qu'on ne peut guère admettre que la complexité du gaz ait pu passer inaperçue pendant la liquéfaction.

Après cet exposé, M. Crookes présente les résultats d'une étude sur *les Spectres de l'argon.*

Quand on fait passer la décharge dans un tube de Plücker contenant de l'argon, on voit d'abord apparaître les raies de l'azote ; mais au bout de quelque temps, le platine des électrodes volatilisé absorbe ce gaz, et les raies de l'argon apparaissent seules [1]. L'ensemble des raies comprend deux groupes distincts, comptant l'un 119 lignes et l'autre 80, parmi lesquelles 26 semblent être communes aux deux spectres. Le premier s'obtient avec une grosse bobine, en employant un courant de 3 ampères et 6 volts ; la lueur du tube est rouge; le second s'obtient avec un courant de 3,84 ampères et 11 volts, en intercalant une bouteille de Leyde de 50 pouces carrés de surface. On peut les obtenir successivement en faisant varier la pression du gaz ; avec un courant de 8,84 ampères et 11 volts on a eu la lueur rouge pour la pression de 3 mm. et la lueur bleue pure pour 0,25 mm. Deux raies peuvent servir à caractériser ce gaz ; elles sont rouges, moins réfrangibles que celles de l'hydrogène et du lithium et ont pour longueur d'onde 696,56 et 705,64. L'étude des spectres ne fournit rien qui soit en contradiction avec l'hypothèse de l'existence de deux éléments, mais beaucoup de gaz simples ont des spectres complexes, et la question reste ouverte.

M. Oszweski a étudié les propriétés de l'argon à basse température. Il a employé l'appareil Cailletet ; les indications du manomètre avaient été comparées à celles du manomètre à mercure; l'éprouvette était à parois relativement minces (1 mm. au plus) ; on employait pour refroidir l'éthylène liquide bouillant sous faible pression. Les températures sont mesurées par le thermomètre à hydrogène. L'argon se liquéfie facilement à la température de — 128°,6, sous la pression de 38 atmosphères. Si on élève légèrement la température, le ménisque devient indistinct et disparaît, sous la pression de 50,6 atmosphères à une température de — 121 degrés. (Sept déterminations ont donné des valeurs comprises entre — 119°,8 et — 121°,6.) La tension de vapeur varie de 38 atmosphères, pour — 128°6 à 23,7 atmosphères, pour — 139°,1.

Pour aller plus loin, on a employé l'oxygène. L'argon, amené à la température d'ébullition de l'oxygène sous la pression atmosphérique (— 182°,7), ne se liquéfie pas ; on a produit la liquéfaction à la température de — 186°,9, sous une pression de 740,5 mm. La densité du liquide est alors 1,5.

A — 191 degrés, l'argon se solidifie en une masse cristalline, ressemblant à de la glace ; à une température plus basse, il devient blanc et opaque. Il se liquéfie à — 189°,6.

L'argon se place, au point de vue de la difficulté de sa liquéfaction, entre l'oxyde de carbone (— 190°) et d'oxygène (— 182°,7); il se rapproche beaucoup de ce dernier gaz, dont la température et la pression critique sont respectivement — 118°,8 et 50,8 atmosphères, mais il s'en distingue complètement par le fait qu'il se solidifie.

C. RAVEAU,
Préparateur à la Faculté des Sciences
Répétiteur à l'Institut National agronomique

[1] M. Crookes a même pu, en partant de l'azote atmosphérique, obtenir de l'argon en faisant passer la décharge pendant huit heures.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

La Bourboule. — Comme nous l'avons dit dernièrement, La Bourboule compte toujours sur son éclairage électrique pour la saison prochaine. Une enquête *de commodo et incommdo* est ouverte

actuellement au sujet du barrage à établir en aval de la localité. On nous communique une protestation du docteur Ad. Nicolas, de La Bourboule, en faveur du barrage, contre lequel certains médecins ont des préventions, suivant lui, mal justifiées. Il résulte des raisons qu'il donne dans cette protestation, que l'établissement du barrage en question ne peut en aucune façon nuire aux conditions hygiéniques de cette station thermale.

Clermont-Ferrand. — Les actionnaires de la Compagnie des tramways électriques ont été réunis au siège social à Lyon, le 23 janvier 1895, suivant les articles 2 et 49 des statuts : premièrement, pour autoriser le conseil à demander officiellement la concession d'un tronçon de seize cents mètres environ, destiné à compléter le réseau actuel de sept kilomètres et à desservir le centre de la ville; deuxièmement, pour voter l'augmentation du capital et donner au conseil d'administration les pouvoirs nécessaires pour effectuer cette augmentation.

Le réseau actuel de Clermont-Ferrand à la gare, ainsi qu'à Montferrand et à Royat avait été concédé principalement pour desservir ces points extrêmes. On ne s'était pas inquiété alors du quartier central, le plus peuplé de Clermont. Depuis longtemps déjà, les habitants de cette partie de la ville demandaient à être desservis par le tramway électrique.

Jusqu'ici, la Compagnie avait ajourné toute décision, non pas que la ligne projetée ne fût productive par elle-même, mais la Société ne possédait pas un supplément de force électrique ni un matériel suffisant pour se rendre au désir des réclamants; elle avait donc ajourné sa décision.

Une circonstance exceptionnelle est venue faire cesser les hésitations du Conseil.

De grandes fêtes se préparent à Clermont pour l'été 1895 : fêtes religieuses, concours régional, agricole et industriel, réunions de Sociétés savantes, etc.

On suppute les bénéfices que la Compagnie des tramways électriques est appelée à recueillir, par le fait de cette affluence et en même temps par la création du nouveau réseau dont les travaux vont commencer avec l'autorisation de la municipalité, et qui seraient poussés de manière à être achevés pour les fêtes.

Le Conseil a estimé de trois cent vingt à trois cent cinquante mille francs les dépenses à faire tant pour établir le nouveau réseau que pour être en mesure de suffire à l'accroissement de circulation pendant cet été.

Les actionnaires, en conformité des conclusions du Conseil, ont voté l'exécution immédiate du réseau sud, après autorisation de la municipalité, et ont donné tous pouvoirs au Conseil pour les formalités relatives à l'obtention de la concession de ce tronçon.

Dijon. — La Compagnie des tramways électriques a l'intention d'étendre son réseau. Elle vient en effet de demander à la ville l'autorisation de construire une voie dans l'allée droite du Parc, une des plus jolies promenades de France, que le trolley, espérons-le, ne rendra pas « trop laid », suivant un calembourg trop connu.

Joyeuse (Ardèche). — Nous apprenons que l'administration vient d'approuver en son entier le cahier des charges de l'éclairage électrique de cette ville. En conséquence, les travaux d'installation commenceront prochainement.

Lille. — L'administration municipale de cette ville est sur le point de conclure un traité de trois ans avec la Société d'éclairage électrique, laquelle aurait consenti à abaisser ses anciennes prétentions et fournirait le kilowatt-heure à raison de 30 centimes au lieu de 80 centimes et 50 centimes prix autrefois indiqué.

Il ne s'agirait, du reste, que d'un essai partiel comprenant l'éclairage des rues principales et centrales de la ville, la rue de la Gare, la Grand'-Place, une partie de la rue Nationale et quelques autres.

On sait que M. Kolb, dans le rapport qu'il a dernièrement présenté au Conseil municipal sur la question de l'éclairage électrique, s'est montré partisan de la production de l'éclairage par la Ville elle-même, et il ne serait pas impossible qu'il continuât à défendre cette thèse dans la prochaine réunion du Conseil municipal où la question du traité avec la Société d'éclairage électrique sera soumise au vote de l'assemblée.

Lyon. — La Société générale d'électricité vient d'acquérir l'usine électrique de cette ville et se propose de compléter l'installation existante afin d'augmenter l'éclairage actuel parfois insuffisant.

Le projet qu'elle fait étudier en ce moment consiste à amener à l'usine centrale de Bourg, une force motrice considérable prise à Pont-d'Ain.

Cette force, qui serait produite par les turbines d'Oussiat, produirait, en arrivant à Bourg, 200 chevaux effectifs.

C'est, comme on le voit, une grande amélioration qui sera vivement appréciée par les nombreux industriels qui ont adopté l'éclairage à l'électricité.

Samer. — La jolie petite ville de Samer, sur la Liane, près de Boulogne-sur-Mer, donne le bon exemple du progrès en matière d'éclairage électrique. Le maire de Samer, sur l'initiative duquel des études avaient été depuis deux ans entreprises en ce sens, par M. Bouvard, Conducteur des Ponts et Chaussées, recevait dernièrement des propositions d'établissement de l'éclairage électrique en sa commune. Avant de saisir le conseil municipal, de la question, le maire a voulu s'assurer de l'accueil qui serait fait par ses administrés au nouveau mode d'éclairage : dès le premier jour d'inscription pour les abonnements éventuels à l'éclairage électrique, plus de 400 lampes étaient souscrites.

Voilà un excellent petit *referendum* qui prouve que nos compatriotes du Pas-de-Calais ne sont à aucun point de vue en proie aux préjugés et à la routine.

Tartas. — Cette coquette petite cité, nous dit l'*Etincelle électrique*, va être la seconde ville du département, après Roquefort éclairée à la lumière électrique. La municipalité fait faire des études dans ce but.]

Valognes. — Si nous en croyons certains bruits, l'éclairage électrique de Valognes serait sur le point d'entrer dans la période d'exécution. Le concessionnaire, M. Desbains, se disposerait à partir prochainement pour Paris où il ferait les acquisitions du matériel nécessaire aux installations électriques, et d'ici peu de temps Valognes n'aurait plus rien à envier aux autres villes sous le rapport de l'éclairage.

Les beautés de l'éclairage au gaz. — C'est dans la saison que nous traversons que les différentes industries de l'éclairage ont leur maximum de production. Or, si l'électricité arrive à suffire à toutes les demandes, il n'en est pas de même du gaz, et c'est justement à cette époque de l'année que l'on enregistre le plus d'explosions et autres accidents dus au gaz ; mais en outre le froid est cause du pitoyable éclairage que nos malheureux becs de gaz nous offrent en ce moment. Beaucoup d'entre eux ne peuvent pas être allumés, le gaz ne leur arrivant plus, les autres brûlent avec une intensité très affaiblie.

Par ces temps de froid si rigoureux, l'eau qui est en suspens dans le gaz, se congèle dans les conduites, particulièrement aux endroits coudés, et crée ainsi un premier obstacle à la libre circulation du gaz.

D'autre part, la naphtaline, qu'industriellement on n'a pu jusqu'ici isoler du gaz d'éclairage, se dépose d'une façon continue dans les conduites et toujours vers les parties coudées, sous forme de cristaux, qui, par suite de leur agglomération et de leur congélation pendant l'hiver, produisent une nouvelle cause d'obstruction.

La morale de cet état de choses, c'est que si l'électricité contribue à nous rendre plus supportables les longues soirées d'hiver, le gaz ne nous fournit, lui, qu'une raison de plus pour appeler le retour de la bonne saison.

L'impôt sur le gaz et l'électricité en Italie. — Le ministre des finances d'Italie vient de déposer un projet de loi qui tend à imposer la consommation du gaz et de la lumière électrique. En voici les dispositions principales :

A partir du 1er juillet 1895, il sera établi un impôt sur la consommation pour l'éclairage et le chauffage au gaz et à la force électrique dans la mesure suivante : 2 centimes pour chaque mètre cube de gaz-lumière, provenant de la distillation du charbon ; 8 centimes pour la consommation de chaque mètre cube de gaz-lumière provenant de la distillation des huiles minérales ; 75 centimes par hectowatt-heure de force électrique.

Sont exemptées de la taxe les quantités consommées pour l'éclairage des endroits publics par les municipalités et pour la force motrice.

La taxe sera due par les fabricants ou producteurs sur les quantités effectivement fournies aux consommateurs. Les fabricants de gaz pourront réclamer le montant de l'impôt aux consommateurs avec lesquels ils auraient fait des contrats avant la promulgation de la loi. Une caution égale à l'évaluation de la taxe correspondante pour deux mois devra être versée par les producteurs.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie I. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 23 Février 1895. N° 8.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA MÉTHODE D'INSCRIPTION DES COURANTS VARIABLES DE M. CREHORE

Le développement considérable qu'ont pris dans ces dernières années les courants alternatifs donne une importance capitale aux méthodes permettant d'obtenir une inscription continue des courants variables. Pour cette raison nous croyons utile de faire connaître la méthode que M. Crehore exposait succinctement à l'une des dernières réunions de l'Institut américain des Ingénieurs électriciens et qu'il décrivait récemment, avec plus de développement, dans *Physical Review* (¹).

Le principe de cette méthode n'est pas nouveau; il n'est autre que la rotation qu'éprouve un faisceau de lumière polarisé lorsqu'il traverse une substance soumise à l'action d'un champ magnétique produit par le courant

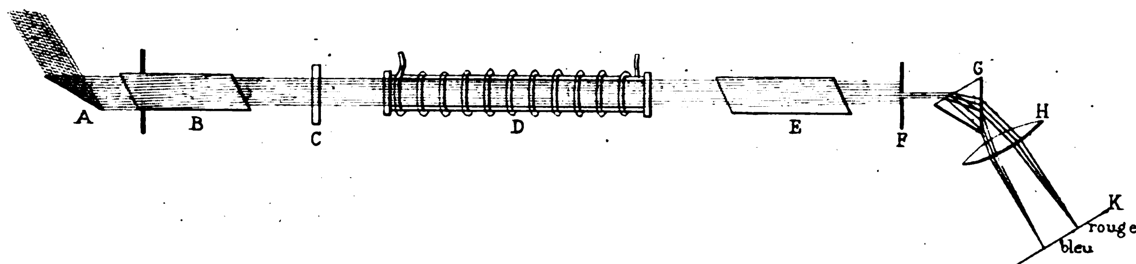


Fig. 1. — Disposition schématique de l'appareil de M. Crehore pour l'inscription des courants variables.

qu'il s'agit d'étudier, phénomène découvert en 1845 par Faraday et étudié depuis par de nombreux expérimentateurs.

L'appareil, que représente schématiquement la figure 1, comprend : un héliostat A, un nicol polariseur B, une lame de quartz C perpendiculaire à l'axe d'épaisseur convenable, un long tube de verre D rempli de sulfure de carbone et entouré d'un fil dans lequel passe le courant, un nicol analyseur E, un écran F percé d'une fente, un prisme G, enfin une lentille achromatique H qui donne une image sur une plaque photographique mobile K. Dans l'appareil employé par M. Crehore dans ses essais le tube D avait 1,4 cm. de diamètre intérieur, 1,8 cm. de diamètre extérieur et 70,15 cm. de longueur; il était fermé à ses extrémités par deux lames de verre à faces planes et parallèles de 1,3 cm. d'épaisseur; il était entouré sur 61,5 cm. de

(¹) *The Physical Review*, t. II, p. 122-138.

longueur, de 6 couches de fil de cuivre formant 2.900 tours.

Le fonctionnement de cet appareil est des plus simples. Considérons le faisceau lumineux sortant du nicol B. Il est polarisé dans un certain plan coupant le plan perpendiculaire à la direction de propagation suivant une droite OB (fig. 2). Par le passage de la lumière à travers la lame de quartz perpendiculaire à l'axe, le plan de polarisation de chaque radiation simple éprouve une rotation proportionnelle à l'épaisseur de cette lame et d'autant plus grande que la longueur d'onde de la

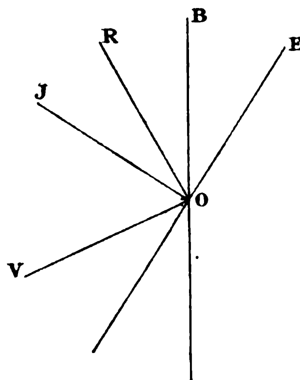


Fig. 2.

radiation est plus petite; soient OR, OJ, OV les positions des plans de polarisation des radiations rouge, jaune et violette à la sortie de la lame de quartz. Si le courant ne circule pas dans la bobine entourant le tube à sulfure de carbone, le passage du faisceau à travers ce liquide ne produit pas de nouvelle rotation du plan de polarisation et ce faisceau tombe sur le nicol analyseur E dans les conditions où il se trouvait à la sortie de la lame de quartz. Soit OE la direction du plan de polarisation de ce nicol; elle est perpendiculaire à celle du plan de polarisation d'une certaine radiation, la radiation jaune par exemple. Cette radiation est alors éteinte par son passage à travers le nicol et le spectre fourni par le prisme G présente une bande noire à l'endroit où se formerait l'image de cette radiation si le nicol n'existait pas. Si maintenant nous lançons un courant dans la bobine magnétisante le sulfure de carbone agit sur la lumière de la même manière que la lame de quartz, c'est-à-dire produit une nouvelle rotation des plans de polarisation des diverses radiations. Par suite, les positions de ces plans dans le faisceau tombant sur l'analyseur ne sont plus les mêmes que précédemment et ce n'est plus la même radiation qui est éteinte. La bande noire du spectre occupe donc une position dépendant de l'intensité du courant.

Il reste à chercher comment il est possible de déduire l'intensité du courant du déplacement de la bande noire dans le spectre. Pour cela il nous faut considérer quelques formules.

La rotation produite par la lame de quartz est approximativement représentée par :

$$\varphi = a \frac{e}{\lambda^2}, \qquad (1)$$

où a est une constante, e l'épaisseur de la lame de quartz et λ la longueur d'onde de la radiation considérée. Celle qui résulte du passage du faisceau lumineux dans le sulfure de carbone est :

$$\theta = \nu V$$

V étant la différence de potentiel magnétique entre les extrémités de la colonne de sulfure de carbone et v la constante de Verdet. D'après Maxwell cette constante est liée à la longueur d'onde λ de la radiation par la relation :

$$\nu = \frac{bn^2}{\lambda^2}\left(1 - \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right), \qquad (2)$$

où n désigne l'indice de réfraction du sulfure de carbone pour cette radiation. Si l'on regarde la variation de l'indice de réfraction avec la longueur d'onde comme négligeable, ce qui revient à considérer le sulfure de carbone comme peu dispersif, cette relation se simplifie et se réduit à :

$$\nu = \frac{bn^2}{\lambda^2}$$

D'autre part, si l'on désigne par Si le nombre d'ampères-tours du courant traversant la bobine, on a :

$$V = \frac{4\pi Si}{10},$$

et par conséquent, si l'on pose :

$$c = \frac{4\pi b n^2 S}{10},$$

il vient :

$$\theta = c \frac{i}{\lambda^2} \qquad (3)$$

La comparaison des expressions approchées de φ et de θ montre que, ainsi que nous le disions plus haut, l'effet du tube à sulfure de carbone sur le faisceau lumineux polarisé est du même genre que celui de la lame de quartz. A l'épaisseur e de la plaque dans la relation (1) correspond, dans la relation (3), l'intensité i du courant; le calcul montre qu'à une épaisseur de 1 mm. correspond un courant de 35.700 ampères-tours. La figure 3 indique quelles sont,

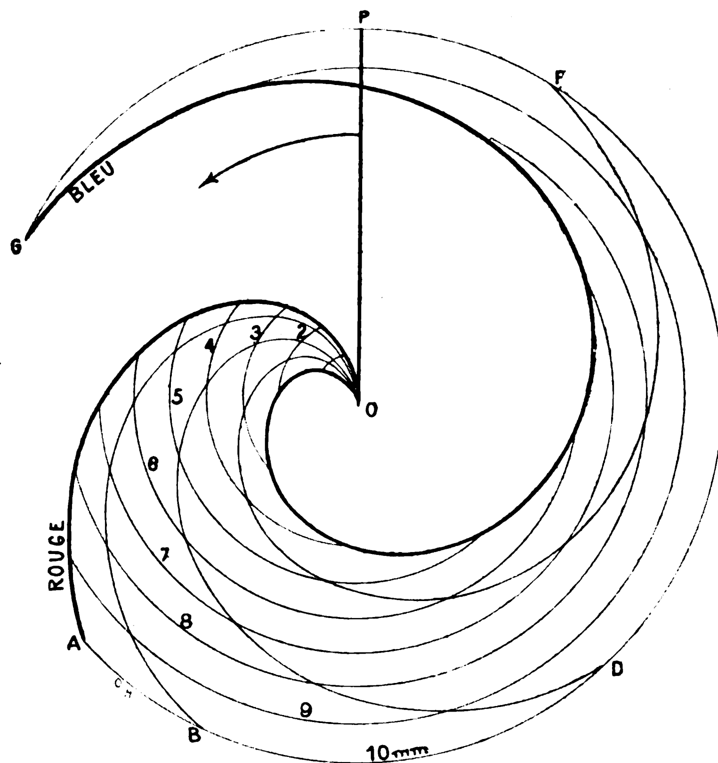


Fig. 3. — Rotations des radiations de diverses longueurs d'ondes pour différentes valeurs de l'intensité du courant ou de l'épaisseur de la lame de quartz.

d'après ces formules, les rotations des radiations de diverses longueurs d'ondes pour différentes valeurs de l'intensité du courant ou de l'épaisseur de la lame de quartz. Les rayons des circonférences concentriques sont proportionnels à ces dernières quantités; les angles de OP avec les rayons aboutissant aux points d'intersection de ces circonférences avec les lignes OA, OB, OD, OF, OG, représentent les rotations qu'éprouvent les radiations correspondant aux raies A, B, D, F, G du spectre solaire. On voit que, comme nous l'avons dit, la rotation croît quand la longueur d'onde diminue.

Désignons par $\frac{\pi}{2} - \alpha$ l'angle des plans de polarisation OB et OE (fig. 2) des nicols polariseur et analyseur. La radiation éteinte par le passage de la lumière à travers l'analyseur est celle dont le plan de polarisation a tourné d'un angle α. Par conséquent, quand la bobine n'est parcourue par aucun courant, la longueur d'onde λ_0 de la radiation éteinte est telle que l'on ait

$$\alpha = \varphi = a \frac{e}{\lambda_0^2}.$$

Quand un courant d'intensité i traverse la bobine, la rotation qu'éprouve le plan de polarisation est $\varphi + \theta$; par suite la longueur d'onde λ de la radiation éteinte est alors donnée par la relation

$$\alpha = \varphi + \theta = (ae + ci) \frac{1}{\lambda^2}.$$

De ces deux dernières relations on déduit

$$a \frac{e}{\lambda_0^2} = (ae + ci) \frac{1}{\lambda^2},$$

ou

$$\lambda^2 = \lambda_0^2 + \frac{c\lambda_0^2}{ae} i.$$

Si donc on porte les intensités en abscisses et les longueurs d'onde λ en ordonnées, on obtient des paraboles dont la distance focale dépend de λ_0 et de e et qui, pour une même valeur de e, viennent couper l'axe des abscisses en un même point. La figure 4 représente deux séries de paraboles correspondant, la série I à $e = 2$ mm., la série II à $c = 6$ mm.; les diverses courbes de chaque série corres-

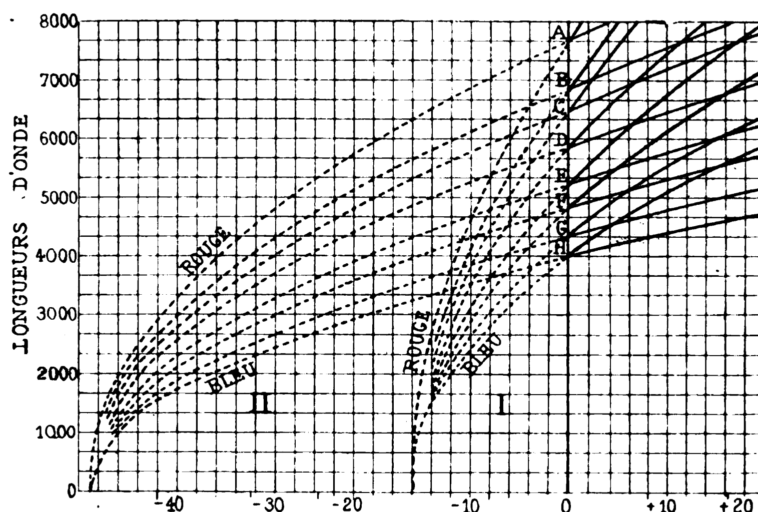


Fig. 4. — Courbes des variations de longueurs d'onde avec l'intensité du courant.

pondent aux radiations des principales raies du spectre; les lettres désignant ces raies sont indiquées le long de la verticale menée par l'origine des abscisses.

Cette figure montre que pour les courants d'intensité positive, c'est-à-dire produisant des rotations de même sens que la lame de quartz, les arcs de paraboles sont suffisamment éloignés des sommets pour qu'on puisse les confondre avec des lignes droites. Par conséquent on peut admettre que $\lambda - \lambda_0$ est proportionnel à l'intensité i du courant.

Il résulte de là que si la distance d'une raie du spectre du faisceau émergeant de l'analyseur, comptée à partir d'un certain point, est proportionnelle à la longueur d'onde de cette raie, le déplacement qu'éprouve la bande noire du spectre sous l'influence du courant est lui-même proportionnel à l'intensité du courant. Il en serait ainsi si le spectre était produit par un réseau et la détermination de l'intensité du courant au moyen de l'inscription photographique serait des plus simples. Remarquons qu'alors il serait avantageux de produire la bande noire dans la région du spectre voisine du rouge car les courbes de la figure 4 montrent que c'est pour cette région que la variation de λ avec l'intensité est la plus rapide.

Mais lorsque, comme le fait l'auteur, on emploie un prisme pour produire le spectre, la relation entre l'intensité du courant et le déplacement n'est plus aussi simple. Si l'on connaît, par une étude préalable de la disper-

sion du prisme, la formule qui lie la longueur d'onde à la distance qui sépare la raie correspondante d'une certaine origine, on peut utiliser cette formule pour trouver la relation entre le déplacement de la bande noire et l'intensité du courant, en considérant celle-ci comme proportionnel à $\lambda - \lambda_0$. Toutefois il paraît préférable, dans ce cas, de déterminer cette relation expérimentalement en lançant dans la bobine des courants d'intensités connues et en mesurant les déplacements correspondants.

Faisons observer que pour arriver à démontrer la proportionnalité de la variation $\lambda - \lambda_0$ de la longueur d'onde de la radiation éteinte à l'intensité du courant, nous avons, dans la relation (2) de Maxwell, négligé le terme $\frac{dn}{d\lambda}$. M. Crehore a voulu se rendre compte de l'influence de ce terme et dans ce but il l'a calculée au moyen de la formule de Briot,

$$\frac{1}{n^2} = k\lambda^2 + A + \frac{B}{\lambda^2},$$

dont il détermine les constantes en utilisant les résultats obtenus par MM. Gladstone et Dale pour les indices de réfraction du sulfure de carbone pour diverses raies du spectre.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans cette voie car la formule de Maxwell ne représente pas très exactement la dispersion rotatoire magnétique du sulfure de carbone; c'est ce qui résulte des expériences de Joubin [1] et de M. Moreau [2].

La simultanéité du phénomène optique et du phénomène magnétique qui en est la cause, démontrée par MM. Bichat et Blondlot [3], rend la méthode de M. Crehore très propre au but qu'elle se propose : toute variation de l'intensité du courant dans la bobine sera immédiatement mise en évidence par le phénomène optique. Toutefois, à cause de la self-induction de la bobine, il y aura une modification du courant qui y est lancé et l'on ne pourra pas toujours déduire de l'inscription photographique obtenue le courant fourni par la source étudiée. D'un autre côté la nécessité d'opérer dans la région rouge du spectre pour avoir le maximum de sensibilité et la nécessité de donner à la plaque photographique un mouvement rapide, lorsque le courant est rapidement variable exigent l'emploi de plaques photographiques extrêmement sensibles ; or il est douteux que les plaques commerciales donnent une inscription suffisamment nette dans ces conditions. Enfin on peut craindre que les variations inévitables de la température du sulfure de carbone, qui ont une influence appréciable sur la rotation, ne viennent masquer les effets produits par le courant.

Il eût donc été utile que l'auteur, au lieu de se contenter de décrire une méthode employée déjà par de nombreux expérimentateurs dans un but différent, nous ait donné en même temps les résultats de ses essais qui, suivant ses propres expressions, promettent beaucoup pour l'avenir.

J. BLONDIN,
Agrégé de l'Université.

(1) JOUBIN. *Thèse de doctorat. Journ. de Physique* [2], t. VIII, p. 53.
(2) MOREAU. *Thèse de doctorat. La Lumière électrique*, t. XLIX, p. 350.
(3) BICHAT et BLONDLOT. *Journ. de Physique* [2], t. I, p. 364.

THÉORIE ET CALCUL
DES MOTEURS ASYNCHRONES
A CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT [1]

Des courbes caractéristiques qui précèdent nous pouvons extraire les parties qui correspondent à la région de stabilité du moteur et les reporter sur une même épure où nous prendrons comme abscisses les valeurs d'une de ces quantités, la puissance utile par exemple, et nous aurons les courbes suivantes (fig. 1).

RECHERCHE DES VARIATIONS DE LA RÉSISTANCE MAGNÉTIQUE.

Ces caractéristiques ne sont pas tout à fait

(1) Voir l'*Éclairage électrique* des 5, 12 et 19 février 1895.

exactes parce que nous n'avons pas tenu compte de la variation de la résistance magnétique. L'erreur n'est cependant pas grande parce que les inductions spécifiques sont faibles : mais lorsque ces inductions spécifiques sont plus considérables, les variations de la résistance magnétique sont importantes et influent beaucoup sur les valeurs des autres quantités.

Pour le faire voir nous allons traiter un exemple et appliquer la méthode que nous avons exposée à la fin de la partie théorique.

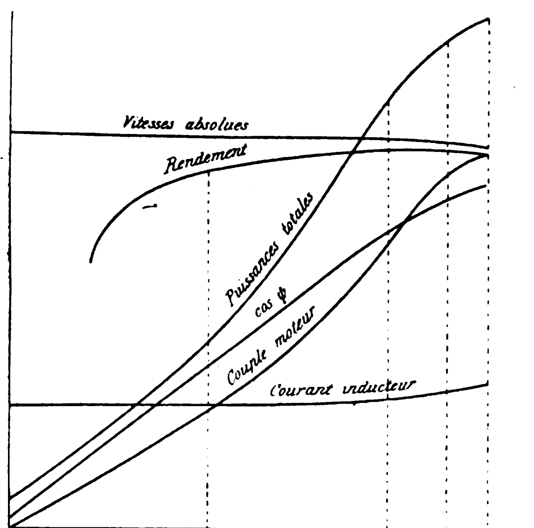


Fig. 1.

Considérons le même moteur que nous venons de calculer soumis à une différence de potentiel suffisante pour produire au synchronisme une induction spécifique de 13.500 (CGS).

Cette valeur est anormale pour l'induit, mais il ne manque pas de moteurs industriels où cette induction spécifique est atteinte et même dépassée dans l'inducteur.

Il y a d'ailleurs une raison pour donner des valeurs élevées à l'induction spécifique dans l'inducteur, c'est afin de diminuer la perte par hystérésis.

Le flux circulant dans la masse magnétique sera égal à

$$\mathfrak{B} s = 24\,948\,000 \text{ (C G S)}$$

et la résistance magnétique du circuit déterminée par la formule

$$\Upsilon = \frac{l_e}{s_e} + \frac{l_a}{\mu_a s_a} + \frac{l_i}{\mu_i s_i}$$

sera égale à

$$\Upsilon = 0.000.187 \text{ (C G S)}$$

De l'équation

$$\mathfrak{F} = \frac{4\pi n \mathfrak{I}}{\Upsilon}$$

on tirera

$$n\mathfrak{I} = 380 \text{ (GGS)}$$

Si on suppose que ces ampères-tours inducteurs sont obtenus par la circulation d'un courant de 39 ampères dans les bobines inductrices, le bobinage de ces bobines devra comprendre 95 spires

$$n = 95$$

On déduira alors

$$\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon} = 20.945 \text{ (CGS)}$$

Mais nous avons vu dans la partie théorique que le rapport $\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon}$ prenait pour les différentes valeurs de φ des valeurs déterminées par l'équation

$$\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon} = \frac{\varepsilon}{4\pi\beta n^2} \sin\psi \frac{(1 + \sin^2\varphi)^2}{1 + \sin^2\varphi + \sin^4\varphi}$$

Dans ce cas on devra avoir pour $\varphi = 0$

$$\frac{\varepsilon}{4\pi\beta n^2} \sin\psi = 20.945$$

comme ψ est très voisin de 90° $\sin\psi = 1$

On en tirera la valeur de ε qui sera égale à 946 volts.

Si nous cherchons les valeurs des quotients $\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon}$ déterminés par l'équation

$$\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon} = \frac{\varepsilon}{4\pi\beta n^2} \sin\psi \frac{(1 + \sin^2\varphi)^2}{1 + \sin^2\varphi + \sin^4\varphi}$$

où l'on fera varier φ depuis 0 jusque 90 degrés on trouvera les valeurs représentées par les ordonnées de la courbe suivante (fig. 2).

Nous devons maintenant tracer la courbe des mêmes quotients $\frac{\mathfrak{I}}{\Upsilon}$ en considérant le circuit magnétique du moteur comme un circuit

ordinaire dans lequel on fait varier l'induction spécifique

Ces valeurs de $\frac{\mathfrak{J}}{\Upsilon}$ seront données par l'équation

$$\frac{\mathfrak{J}}{\Upsilon} = \frac{\mathfrak{F}}{4\pi n}$$

ou

$$\mathfrak{F} = \mathfrak{B}s$$

s est la section fer $=$ 184 cm^2 8.

Si on fait varier l'induction spécifique, ou $\mathfrak{B}$, depuis 13.500 jusqu'à 18.000 les valeurs de $\frac{\mathfrak{J}}{\Upsilon}$ seront représentées par les ordonnées de la droite AB (fig. 3).

Sur la même épure nous pourrons tracer en fonction des mêmes valeurs de l'induction spécifique les valeurs correspondantes du courant inducteur et de la résistance magnétique. La valeur de la résistance magnétique peut s'écrire

$$\Upsilon = 0.000128 + \frac{0.0564}{\mu}$$

en supposant qu'on néglige les pertes de flux.

Si on donne à μ les valeurs qui correspondent à celles de $\mathfrak{B}$, d'après les tableaux d'Hopkinson, pour le fer doux, on trouve pour la résistance magnétique des valeurs représentées par les ordonnées de la courbe CD.

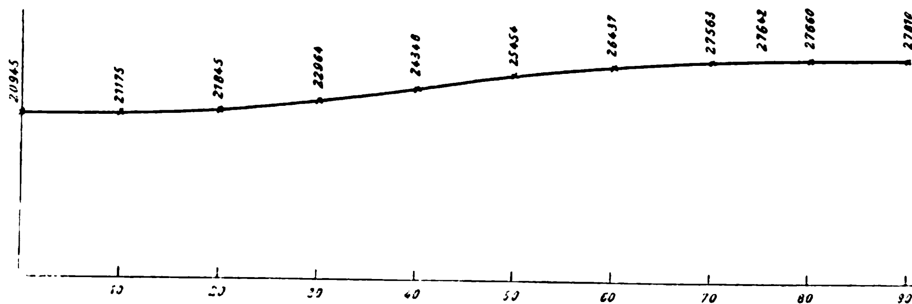


Fig. 2.

On déduira aisément les valeurs du courant inducteur et qui seront représentées par les ordonnées de la courbe EF.

Finalement, en égalant les valeurs des rapports $\frac{\mathfrak{J}}{\Upsilon}$ déterminés par les ordonnées de la courbe et de la droite précédentes nous déterminerons les valeurs du courant inducteur, de l'induction spécifique et de la résistance magnétique réelles en fonction des valeurs de φ.

Le courant inducteur sera représenté par la courbe E'F' et la résistance magnétique par la courbe C'D' et l'induction spécifique par la courbe PQ (fig. 4).

On voit avec quelle rapidité grandissent les valeurs du courant inducteur quand l'induction spécifique est élevée. On remarquera aussi l'analogie des courbes E' F' et C' D' avec la courbe de perméabilité : les variations du courant inducteur dépendront donc directement de la nature du métal employé ; plus le métal sera doux, plus les variations seront considérables.

CARACTÉRISTIQUES

Nous tracerons ces caractérisques comme précédemment en tenant compte cependant des variations du courant inducteur et de la résistance magnétique pour la région de stabilité du moteur.

Ces caractéristiques seront représentées par les courbes suivantes (fig. 5) où nous prendrons comme abscisses les valeurs des puissances utiles.

Pour ne pas encombrer l'épure nous donnons ci-après le tableau des valeurs de ces diverses quantités.

TABLEAU I.

ANGLE de décalage φ	VITESSES absolues $\beta - m$	COURANT inducteur $\mathfrak{J}$	COUPLE moteur C	PUISSANCES utiles P_u	PUISSANCES totales P_t	DÉCALAGE $\cos \psi$	INDUCTION spécifique $\mathfrak{B}$	RENDEMENT η
0	40.00	39	0	0	251 × 10^7	0.007	13500	0
10	39.79	39.8	24.2 × 10^7	6045 × 10^7	6804	0.180	13633	0.88
20	39.55	43.8	44.2	10965	12060	0.292	14150	0.90
30	39.07	52	59.6	14616	16302	0.330	14917	0.90
40	38.48	67	71.9	17396	19648	0.309	15590	0.88
50	36.60	113	100.8	23004	28537	0.267	16352	0.84
60	32.47	181	120.6	24469	34200	0.207	17000	0.71

On remarquera l'analogie frappante qui existe entre ces courbes et celles qui ont été relevées sur des moteurs existants et on reconnaîtra la facilité que donneront ces diagrammes pour étudier les propriétés du moteur que l'on veut construire, et en général pour l'étude générale des propriétés des moteurs de ce genre : nous ne nous y arrêterons cependant pas.

MOTEURS SANS RHÉOSTAT DE DÉMARRAGE DANS L'INDUIT

Il peut être nécessaire, dans des cas spéciaux, tels que l'emploi de ces moteurs dans les mines grisouteuses, d'avoir des appareils aussi simples et aussi robustes que possible, qui ne présentent pas de pièces frottantes susceptibles de donner des étincelles, mais qui possèdent un couple suffisant au démarrage.

La résolution de ce problème est un peu différente du cas précédent, et nous allons en donner un exemple.

Fig. 3.

Supposons qu'on demande un moteur capable de fournir une puissance de 3 chevaux ou 2.208 watts, alimenté sous un potentiel constant de 200 volts maxima. On doit, dans ce cas, limiter les pertes dans l'induit et

l'inducteur : soit pour chacune d'elles 8 p. 100 de la puissance utile ou 176 watts.

Pour le calcul de ces moteurs nous devrons d'abord déterminer sur la courbe des coefficients numériques de l'expression du couple moteur l'angle φ qui correspond au démarrage, et de là nous pourrons passer au calcul des circuits magnétiques, induits et inducteurs.

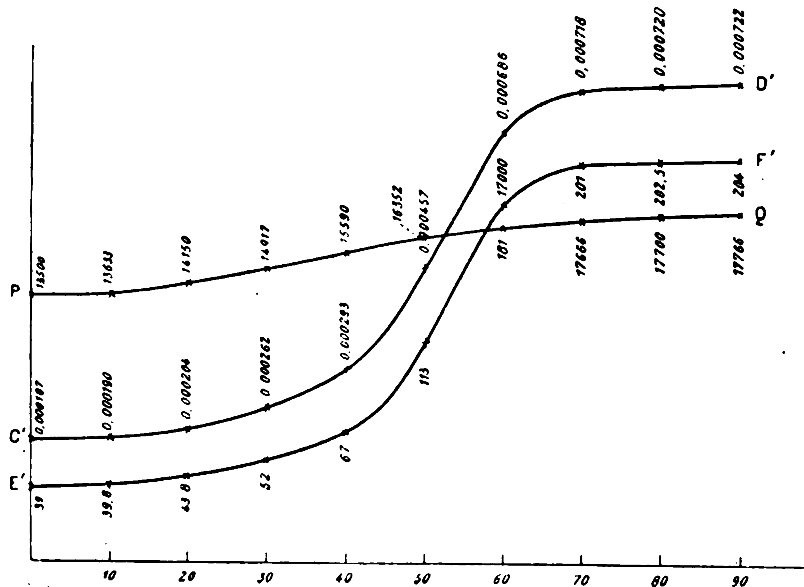


Fig. 4.

Fig. 5.

DÉTERMINATION DE L'ANGLE φ DU DÉMARRAGE

Prenons cet angle $\varphi_d = 75°$.

Nous expliquerons plus loin les raisons de ce choix.

De la formule

$$\operatorname{tg} \varphi_d = \frac{p\beta L}{R} = 3.732$$

on tire

$$\frac{L}{R} = \frac{0.0933}{p}$$

en supposant que β reste égal à 40.

CALCUL DU CIRCUIT MAGNÉTIQUE

DIAMÈTRE DE L'INDUIT

Ce diamètre sera égal comme précédemment à β = 30 cm.

RÉSISTANCE MAGNÉTIQUE

Pour déterminer la résistance magnétique on procédera comme il a été indiqué pour le cas précédent.

Nous avons vu qu'on avait trouvé

$$l\Upsilon = 0{,}01012$$

et

$$l\Upsilon = 0.000.064\ n\mathfrak{J}$$

d'où

$$n\ \mathfrak{J} = 156.$$

La puissance utile du moteur est égale à

$$2\ \pi C\ (\beta - m) = 2.208 \times 10^7.$$

Mais

$$C = 0{,}448\ \frac{n^2\ \mathfrak{J}^2}{\Upsilon}$$

et

$$\beta - m = 37{,}04$$

0,448 est le coefficient numérique correspondant à l'angle de marche normale $\varphi = 15°$, ainsi que nous allons le voir.

Donc

$$104{,}19\ \frac{n^2\ \mathfrak{J}^2}{\Upsilon} = 2.208 \times 10^7$$

d'où

$$\Upsilon = 0{,}000117$$

et

$$l = 86 cm.$$

Cette longueur est considérable, mais elle nous donnera l'occasion de faire remarquer l'influence des dimensions du moteur sur la valeur du couple au démarrage.

Si par exemple on veut avoir un couple plus grand au démarrage on doit prendre $\varphi_d < 75°$. L'angle de marche normale sera alors $< 15°$. Le coefficient numérique 104,19 diminuera et la résistance magnétique également.

La longueur l augmentera dans la même proportion.

On voit donc qu'on pourra obtenir un couple au démarrage aussi grand que l'on veut, mais à condition d'augmenter les dimensions du moteur, c'est-à-dire de le payer plus cher : en outre, on n'utilisera normalement qu'une faible partie de la puissance dont ce moteur est capable, à moins cependant qu'on ne consente à une perte plus grande dans l'induit : mais alors le moteur deviendra peu économique.

On voit par ce qui précède l'avantage de pouvoir employer un rhéostat de démarrage dans l'induit, car on joint alors au bénéfice d'un moteur économique d'achat et de fonctionnement celui d'un couple puissant au démarrage.

CALCUL DU CIRCUIT INDUIT

En portant la valeur de $\frac{L}{R}$ déterminée plus haut dans la formule générale.

$$\text{tg}\ \varphi = \frac{pmL}{R}$$

$$\text{tg}\ \varphi = m \times 0{,}0933$$

Cette formule nous servira à déterminer les valeurs des vitesses relatives m correspondant aux valeurs de φ.

La vitesse de marche normale de l'induit se déterminera comme suit :

La puissance utile est exprimée par $2\pi C\ (\beta - m)$ et la puissance perdue dans l'induit par $2\pi Cm$.

Or, nous avons limité la puissance perdue dans l'induit à 8 p. 100 de la puissance utile.

Donc

$$\frac{2\pi\ C\ (\beta - m)}{2\pi\ C\ m} = \frac{100}{8}$$

d'où

$$m = 2{,}96.$$

Ce qui correspond à un angle $\varphi = 15°$. Le coefficient numérique de la courbe des couples pour $\varphi = 15°$ est égale à 0,448, et celui de la courbe des courants induits à 0,248.

NOMBRE DE CADRES DE L'INDUIT

Le courant induit de marche normale sera exprimé par

$$I = 0{,}248\ \frac{n\mathfrak{J}}{p}$$

en supposant que

$$n' = 1.$$

Or

$$n\mathfrak{J} = 158$$

donc

$$pI = 39{,}18$$

La perte dans l'induit a été fixée à 176 watts, donc

$$pRI^2 = 176 \times 10^7$$

Si on fixe les mêmes conditions que précé-

demment relativement à la densité du courant et au passage laissé au flux, on a

$$p^2 I = 769,3$$
$$p = 20$$

DIAMÈTRE DES BARRES

De

$$pd = 7$$

on tire

$$d = 0,35$$

d'où

$$s = 0,096$$

COURANT INDUIT

De

$$pI = 39$$

on déduit

$$I = 20 \text{ amp.}$$

RÉSISTANCE DES CADRES INDUITS

De

$$pRI^2 = 176 \times 10^7$$

on tire

$$R = 0,022 \text{ ohm.}$$

Si on cherche la résistance qu'aurait un cadre en cuivre de dimensions semblables, on trouve qu'elle est égale à

$$R = 0,00172 \text{ ohm}$$

c'est-à-dire 13 fois moindre que la résistance exigée.

Nous pouvons réaliser cette résistance en employant pour la confection des barres un métal 13 fois plus résistant que le cuivre, ou ajouter aux barres de cuivre une résistance extérieure suffisante pour donner à l'ensemble la résistance exigée. Cette résistance extérieure devra être invariablement fixée à l'induit.

L'échauffement de l'induit ne sera pas plus grand malgré la résistance plus grande des barres, puisque cet échauffement sera limité par la perte tolérée, soit 176 watts, et la surface de refroidissement sera largement suffisante pour empêcher la température de s'élever beaucoup.

CALCUL DU CIRCUIT INDUCTEUR

Le calcul du circuit inducteur est identique à celui qui précède, et on pourra tenir compte également des variations de la résistance magnétique.

Il est inutile de le recommencer pour ne pas allonger cette note.

CALCUL DES MOTEURS MULTIPOLAIRES

Quand on veut obtenir des moteurs de puissance considérable, les moteurs bipolaires sont insuffisants, et l'on doit employer des moteurs multipolaires. Le calcul de ces moteurs se ramène au calcul des moteurs bipolaires.

En effet, un moteur multipolaire n'est que la juxtaposition d'un certain nombre de moteurs bipolaires qu'on supposerait entr'ouverts et réunis les uns aux autres par leurs sections. Si on veut par exemple un moteur de 20 chevaux, on pourra supposer ce moteur décomposé en moteurs bipolaires de 4 chevaux. On calculera donc, comme nous l'avons indiqué, un moteur de la force de 4 chevaux, et le moteur de 20 chevaux sera obtenu en juxtaposant 5 moteurs semblables.

L. LEGRAND
Ingénieur du corps des Mines de Belgique,
à Mons.

ERRATA. — De nombreuses fautes d'impression ont rendu la première partie de notre travail à peu près illisible ; nous indiquerons les principales.

Les lettres majuscules rondes $\mathfrak{I}$, $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{L}$, qui sont inscrites sur les figures sont relatives au circuit inducteur et doivent correspondre dans le texte aux mêmes lettres en caractères d'imprimerie, tandis que ces mêmes lettres droites correspondent au circuit induit : cette remarque permettra au lecteur de faire la substitution de certaines de ces lettres qui ont été mal imprimées.

« Les notations γ et γ n'en forment qu'une qui représente la résistance magnétique.

Page 22, au lieu de : Donc, $I = n'F$ et $e = n'm$ F cosmt, lire : Or, $MI = n'F$, donc $e = n'm$ F cosmt.

L'expression du couple C doit être

$$C = \frac{n^2 I^2}{\Upsilon} \frac{\sin 2\varphi}{(1 + \sin^2\varphi)^2}$$

au lieu de

$$\frac{n^2 I^2}{\Upsilon} \frac{\sin^2 \varphi}{(1 + \sin^2\varphi)^2}.$$

A la page 57, après la formule

$$C = -\frac{nd\,(-F\cos(\beta t - \varphi))}{dt} = n\beta F \sin(\beta t - \varphi),$$

Supprimer « et la valeur absolue maxima sera n F ou $p\beta$MI » et lire ensuite : « Mais il faut remarquer...... Jusqu'à la formule

$$\frac{pM\beta I}{1 + \operatorname{Sin}\varphi},$$

puis seulement vient « les forces électromotrices agissantes, etc. »

Page 60, dans l'expression

$$\Upsilon = \frac{l_e}{s_e} + \frac{l_a}{M_a s_a} + \frac{l_i'}{M_i s_i}$$

lire $\mu_a\ \mu_i$ au lieu de M_a et M_i, u_a et u_i.

Page 61, dernière ligne, première colonne, « devant » au lieu de « devient ».

Page 99, ligne 10, « 40 » au lieu de « 400 ».

Page 100, colonne 2, ligne 1, « 3778 *cm* » au lieu de « 3778 *m* ».

Page 101, colonne 1, « $s_u = 28\ ls_i = 28\ l$ » au lieu de « $s_u = 28\ \alpha\ ls_i = 28\ \alpha\ l$ ».

Page 102, colonne 2.

$$s = \frac{1}{20}\ (CGS)$$

au lieu de

$$s = \frac{1}{20}\ CGS).$$

L. L.

QUELQUES MOTS

SUR

LA THÉORIE DES MACHINES

DYNAMOS

Dans ce qui va suivre, nous nous sommes proposés de mettre en relief certains points de l'influence qu'exerce l'épaisseur de l'entrefer sur le fonctionnement d'une dynamo.

Au premier abord, l'entrefer étant la résistance magnétique la plus considérable que l'on rencontre dans le circuit magnétique d'une dynamo, on serait tenté de croire qu'il y a tout avantage à le réduire autant que possible. La pratique a montré qu'il n'en était pas ainsi. Si on essaye de construire des dynamos à entrefer très réduit, on trouve que ces machines donnent lieu à un décallage exagéré des balais et ne donnent pas un voltage plus élevé en marche que des dynamos exactement du même type mais possédant un entrefer plus grand. Souvent même, la réduction de l'entrefer amène une chute de voltage, c'est-à-dire de puissance. C'est dans l'action des flux transversaux créés par l'armature qu'il faut rechercher la raison de ces anomalies. Ces flux transversaux dont le parcours moyen est représenté en traits pointillés *m*, *u*, *n*, sur la figure 1, agissent d'abord pour dévier, aux cornes polaires *a* et *b*, le flux créé par les électros. Cette déviation des lignes de force a, pour effet bien connu, d'augmenter l'angle de callage des balais. Or, de cet angle de callage α, dépend ce que l'on appelle la force contre-magnétomotrice. Les spires situées dans l'angle α donnent naissance à un flux qui tend à s'opposer à celui créé par les inducteurs.

Si n est le nombre total de spires de l'armature dans laquelle circule un courant I,

mi le nombre d'ampères tours d'excitation,

N le flux magnétique total,

on a :

$$4\pi\left(mi - \frac{1}{2}\frac{n}{360}\alpha I\right) = \Sigma N R_m \qquad (1)$$

Cette formule permet de voir que, tout en diminuant la résistance R_e de l'entrefer, N n'en sera pas forcément augmenté, parce que l'angle de callage α devra subir un accroissement correspondant.

On n'a pas pu jusqu'ici calculer l'effet des flux transversaux sur le décallage; tout ce que l'on peut dire, c'est que, d'après la formule (1), il y a une valeur minimum à donner à l'entrefer.

Mais, même en supposant ce phénomène nul, il y en a un autre, moins connu et moins étudié, qui fait qu'en diminuant l'entrefer, on ne diminue pas toujours la résistance magné-

tique offerte au flux. Je veux parler de l'obliquité des lignes de force dans l'entrefer. Désignons par F l'intensité du champ dû aux électros (fig. 1), et par F' l'intensité du champ dû aux flux transversaux. Ces deux intensités F et F' se combineront pour donner une résultante R faisant un angle γ avec la direction de F. Le flux sera évidemment dirigé suivant R et par conséquent, traversant l'entrefer x obliquement, la résistance magnétique qui lui est offerte sera la même que si l'entrefer avait été augmenté de :

$$dx = x \frac{1 - \cos\gamma}{\cos\gamma}.$$

Il arrive un moment où l'on n'a plus avantage à diminuer x de $(dx)_1$, car l'obliquité plus grande du flux augmente x d'une quan-

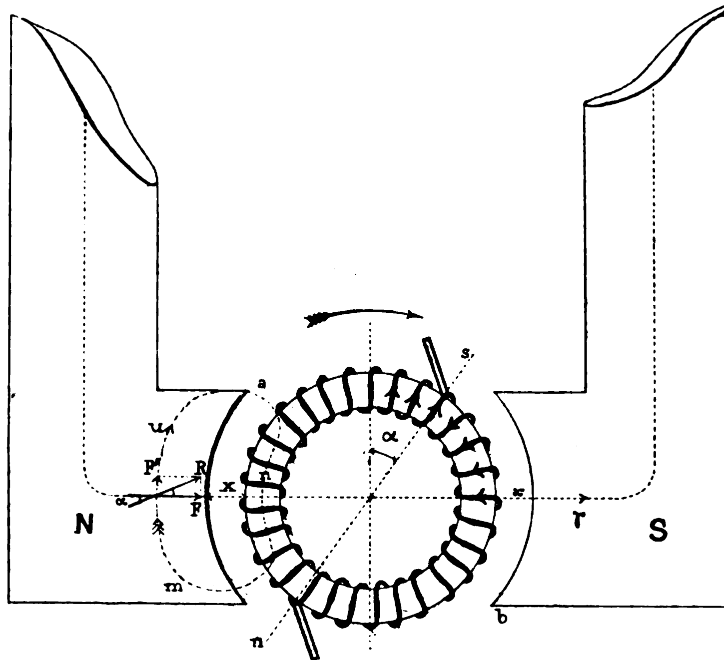


Fig. 1. — Influence de l'épaisseur de l'entrefer sur le fonctionnement d'une dynamo.

tité $(dx)_2 > (dx)_1$. Ceci provient de ce que F n'augmente pas proportionnellement à la diminution de x à cause de la résistance du circuit magnétique de la dynamo non compris l'entrefer. Celle-ci reste constante quel que soit x; F peut donc être représenté par une fonction de la forme,

$$F = \frac{K_2}{x + a}.$$

A cause de la grande section de fer offerte aux flux transversaux, on peut admettre que la résistance de leur circuit magnétique ne dépend que de celle de l'entrefer, et poser approximativement,

$$F' = \frac{K_1 n I}{x}$$

On aura alors :

$$R = \sqrt{F^2 + F'^2} = \sqrt{\left(\frac{K_2}{x + a}\right)^2 + \left(\frac{K_1 n I}{x}\right)^2}$$

Il faudra évidemment déterminer x de façon à rendre R maximum.

Pour cela faisons

$$\frac{dR}{dx} = 0;$$

on a

$$\frac{dR}{dx} = \frac{-1}{2\sqrt{\left(\frac{K_2}{x + a}\right)^2 + \left(\frac{K_1 n I}{x}\right)^2}} \left[2 \frac{K_2}{x + a} \frac{1}{(x + a)^2} + 2 \frac{K_1 n I}{x} \frac{1}{x^2}\right] = 0$$

$$\frac{dR}{dx} = \frac{-1}{\sqrt{\left(\frac{K_2}{x+a}\right)^2 + \left(\frac{K_1 n I}{x}\right)^2}} \cdot \frac{1}{(x+a)^3 x^3} \left[K_2 x^3 + K_1 n I (x+a)^3 \right] = 0$$

Ce qui revient, en définitive, à résoudre une équation du troisième degré de la forme

$$x^3 + 3bx^2 + (b^2 + 2b) x + b^3 = 0$$

Lorsqu'on étudie un projet de machine, on peut déterminer la valeur des constantes K_2, a, et n I, mais la valeur de K_1, dépendant des flux transversaux, n'a pas, jusqu'ici, pu se calculer. Il faudra déterminer K_1 sur des types de dynamos existantes et analogues à celle dont on veut faire le projet. Le mieux pour cette détermination sera d'enrouler une spire s autour de la pièce polaire de la dynamo servant à relever la valeur de K_1, de lancer dans l'armature un courant I égal au courant de régime, et de calculer, d'après les élongations d'un galvanomètre balistique, la valeur des flux transversaux.

FARMAN.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES
A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI

DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES

AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE

PREMIÈRE PARTIE

DESCRIPTION DES APPAREILS

1° *Introduction.* — Depuis que Hertz a réussi à obtenir des rayons de force électrique et à démontrer que ces rayons se réfléchissent, se réfractent et interfèrent comme les rayons lumineux, beaucoup d'autres savants ont répété ses célèbres expériences, les ont confirmées et étendues. Cependant, l'analogie qui dérive de ces expériences, entre les propriétés des vibrations électriques et celles des vibrations lumineuses, a été peu étudiée; on ne peut citer que l'essai de Lodge et Howard (1) pour concentrer les radiations électriques au moyen d'une lentille, et celles relatives à la réflexion et aux propriétés des réseaux de fils métalliques parallèles.

Cependant, c'est, suivant moi, un des côtés les plus importants des beaux travaux de Hertz. Si cette analogie est démontrée intime et complète, elle augmentera beaucoup la confiance qu'on a dans la théorie de Maxwell, c'est-à-dire dans l'hypothèse que les phénomènes lumineux ne sont que des phénomènes électro-magnétiques.

Il est pourtant facile d'expliquer pourquoi si peu de travaux ont été faits dans cette voie. La longueur d'onde minima obtenue par Hertz et par ses continuateurs était d'environ 66 cm. Une telle longueur d'onde obligeait à faire usage d'appareils de dimensions très grandes, afin d'éviter que les phénomènes de diffraction pussent masquer la plupart des phénomènes analogues à ceux qui, d'ordinaire, produisent les ondes lumineuses.

Pour obtenir des démonstrations expérimentales de cette analogie, il fallait donc tout d'abord créer des appareils avec lesquels il fût possible de produire et d'étudier des rayons de force électrique de longueur d'onde beaucoup inférieure à 66 cm.; ce fut mon premier soin. Ces recherches me conduisirent heureusement à la réalisation de mon projet et me mirent en mesure d'expérimenter avec des longueurs d'onde de peu de centimètres (seulement, parfois, 2 1/2 cm.).

En possession de ces appareils, qui ont quelques autres avantages particuliers, j'ai, à plusieurs reprises, fait des expériences dont les résultats démontrent la plus parfaite analogie entre les ondes électriques et les ondes lumineuses.

Dans différentes notes préliminaires (1) j'ai

(1) *Phil. Mag.*, t. XXVIII, p. 48, 1889.

(1) *Rend. della R. Acc. dei Lincei*, t. II, 1er. sem.

brièvement décrit, non seulement les appareils que j'ai inventés, mais encore quelques-unes des expériences que j'ai réalisées avec ceux-ci, diffraction, réflexion totale, polarisation circulaire, etc. Mais, depuis, j'ai eu l'opportunité de perfectionner considérablement ces appareils et de réaliser beaucoup d'expériences nouvelles. C'est pourquoi j'ai cru devoir présenter, dans le présent mémoire, l'exposition complète des résultats que j'ai obtenus et la description des appareils plus parfaits qui m'ont servi à les obtenir.

Déjà, sous leur forme primitive, ces appareils ont été adoptés par divers expérimentateurs (¹); on peut donc espérer que les modèles perfectionnés actuels pourront rendre de réels services à la science.

2° *Les oscillateurs.* — Un excitateur ou oscillateur de Hertz n'est autre qu'un condensateur qui se décharge perpétuellement, en traversant un circuit tel que la décharge soit oscillante. La période d'oscillation varie, suivant une formule connue, avec la capacité du condensateur et la self-induction du circuit. Dans les oscillateurs de Hertz, les armatures sont constituées par deux axes placés dans le prolongement l'un de l'autre, et par des plaques métalliques qui, dans beaucoup de cas, sont réunies à leurs extrémités les plus éloignées. Le circuit de décharge est constitué par les axes ci-dessus et par l'étincelle qui les relie, c'est-à-dire par le gaz incandescent qui se produit dès le commencement de la décharge. Le diélectrique du condensateur n'est autre que l'air ambiant qui environne les deux conducteurs et dans le sein duquel les ondes électromagnétiques se propagent à distance.

Pour obtenir une très petite période d'oscillation, il fallait donc diminuer la capacité et la self-induction. C'est pourquoi j'ai constitué mes oscillateurs simplement avec deux sphères métalliques voisines l'une de l'autre; une fois chargées à des potentiels différents, elles peuvent se décharger par une très faible étincelle.

Les effets d'un excitateur de ce genre, construit avec des petites boules de peu de centimètres de diamètre, sont assez faibles. Mais on peut les accroître énormément en employant l'artifice, dû à MM. de La Rive et Sarasin (¹), qui consiste à faire éclater l'étincelle qui réunit les deux conducteurs dans un liquide isolant. J'ai adopté cette disposition, et j'ai placé un liquide isolant entre les deux sphères; mais j'ai trouvé que l'huile de vaseline devait être préférée à l'huile d'olive adoptée par les deux physiciens genevois, surtout en la rendant peu fluide par l'addition d'une quantité suffisante de vaseline.

L'efficacité du liquide me semble pouvoir être attribuée simplement à ce que la différence de potentiel nécessaire pour provoquer la décharge doit être plus grande dans le liquide que dans l'air et que, par conséquent, la quantité d'électricité mise en jeu est plus grande aussi.

Mais l'oscillateur à liquide présente un autre avantage incomparable. Tous ceux qui ont répété les expériences de Hertz savent qu'il est indispensable, pour obtenir de bons résultats, de maintenir les surfaces métalliques entre lesquelles se produisent les étincelles parfaitement propres et, dans ce but, de les frotter à très courts intervalles avec une carte d'émeri. Avec les excitateurs à huile de vaseline, aucun soin particulier n'est nécessaire, car ils suffisent à produire indéfiniment un effet parfaitement constant, même si, après un long usage, le liquide est devenu noir par la carbonisation, et si un dépôt noir s'est formé sur les deux boules.

1893, p. 333 et 505. — Id., 2ᵉ sem. 1893, p. 7 et 157. — *La Lum. élect.*, t. XLVIII, p. 508 et 601. — Id., t. XLIX, p. 401.

(¹) RUBENS; *Nature*, nº 1259, p. 167. — DUFOUR; *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 1039. — ZEHNDER; *Wied. Ann.*, 1894, nº 5, p. 34. — *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 566. — ELSTER ET GEITEL; *Wied. Ann.*), 1894, nº 7, p. 450. — GARBASSO ET ASCHKINASS; *Naturwiss. Rundschau*, 9ᵉ année, nº 34.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXV, p. 489, 1892. — *La Lum. élect.*, t. XLVI, p. 189.

3° *Mode d'excitation des oscillateurs.* — Pour exciter les oscillateurs, Hertz et les autres savants qui se sont, depuis, occupés de ces recherches ont recouru à une bobine d'induction. Cependant Tœpler a substitué une machine à influence à cet appareil (¹).

De mon côté, j'ai préféré adopter une grande machine à influence de Holtz à quatre plateaux et à conducteur diamétral; j'ai obtenu ainsi des effets beaucoup plus satisfaisants que ceux obtenus avec les mêmes appareils excités au moyen d'une bobine de Ruhmkorff grand modèle.

Le mode de montage que j'ai adopté diffère des deux méthodes indiquées par Tœpler. Les condensateurs de la machine sont supprimés, et ses conducteurs principaux sont reliés, au moyen de fils de cuivre, ou mieux au moyen de conducteurs flexibles introduits dans des tubes de caoutchouc, à deux sphères placées dans le prolongement des sphères constituant l'excitateur, une de chaque côté. Lorsque la machine fonctionne, il se produit trois étincelles : deux dans l'air, entre les sphères terminales de la machine et les sphères de l'excitateur et une dans le liquide isolant. Lorsque la machine débite une grande quantité d'électricité, les étincelles se renouvellent avec une fréquence telle, qu'elles semblent constituer un phénomène lumineux continu.

En général, la machine de Holtz était maintenue en marche par un moteur hydraulique de Schmidt d'un quart de cheval. Comme on le verra plus loin, les décharges qui se produisaient le long des fils de communication et les deux étincelles éclatant à l'air libre n'affectaient pas sensiblement les résonnateurs. Elles servaient seulement à charger les deux sphères de l'excitateur, lequel se déchargeait ensuite par l'étincelle oscillante centrale.

4° *Disposition pratique des oscillateurs.* — Mes premiers oscillateurs, décrits dans la note citée plus haut, étaient verticaux, c'est-à-dire que les centres des quatre sphères métalliques étaient sur une même verticale. Les deux sphères médianes étaient fixées avec du mastic dans la plus petite ouverture de deux vases tronc-coniques obtenus en taillant convenablement des entonnoirs de verre. L'entonnoir inférieur ou, pour mieux dire, l'espace que l'entonnoir supérieur laissait dans le premier où il pénétrait en partie, était rempli avec le liquide isolant. Au moyen d'une vis, on pouvait régler la distance entre les deux sphères de l'excitateur.

Cette position verticale de l'oscillateur a pourtant l'inconvénient de rendre, dans certains cas, les appareils assez incommodes et compliqués, par exemple, dans l'étude de la réflexion. Il était donc désirable de pouvoir

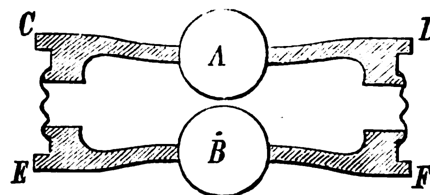


Fig. 1. — Coupe de l'excitateur.

donner aux excitateurs une direction quelconque, et de pouvoir la modifier facilement d'un instant à l'autre, tout comme il est utile qu'un polarisateur puisse tourner autour de son axe, afin que le plan de polarisation de la lumière qui en émerge puisse recevoir une orientation quelconque.

Les nouveaux oscillateurs se prêtent à cette exigence.

Les deux sphères A et B de l'oscillateur (fig. 1) sont fixées au centre de deux forts disques de bois, de verre ou mieux encore, d'ébonite, CD, EF, formant la base et le sommet d'un récipient cylindrique dont les parois latérales sont flexibles. Un trou pratiqué dans un des disques permet de remplir l'intérieur d'huile de vaseline et d'expulser les gaz qui suivent la décharge; un dispositif quelconque permet de régler la distance entre les deux bases, et partant, entre les deux sphères. La surface interne des deux disques doit être convexe afin que le niveau du liquide soit un peu

(¹) *Wied. Ann.*, 1892, t. XLVI, p. 306.

plus haut que le point où se forment les étincelles, entre A et B, même lorsque les disques sont horizontaux. La partie flexible est formée par une membrane animale, ou avec du papier parchemin réuni en anneau avec de la colle après avoir été assoupli dans l'eau additionnée d'un peu de glycérine, afin que le parchemin conserve sa souplesse. Le caoutchouc ne peut servir parce que l'huile de vaseline le gonfle énormément.

Ce dispositif a un léger inconvénient qui n'a pas pourtant empêché d'utiliser avec succès les appareils, et qui consiste en un suintement du liquide à travers la membrane.

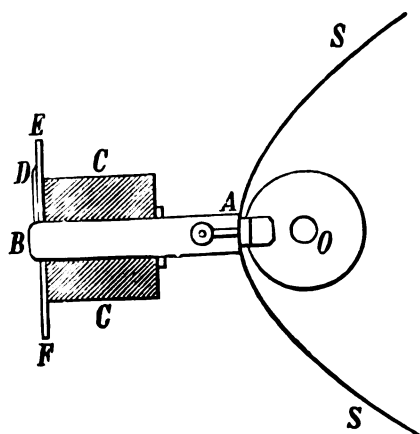


Fig. 2. — Coupe de l'excitateur muni de son miroir parabolique.

Les parties essentielles de l'excitateur vu dans la direction de son axe de figure et muni d'un réflecteur cylindro-parabolique sont représentées dans la figure 2. Naturellement, l'axe de l'oscillateur O coïncide avec la ligne focale du miroir SS. Ce dernier est formé d'une lame de cuivre; il est rigidement fixé par l'arrière, à la hauteur du centre de l'oscillateur, par un axe de laiton AB qui peut tourner dans un manchon CC qui supporte l'appareil entier; un index D, mobile avec l'axe AB se déplace devant un cercle gradué EF. Avec cette disposition, les radiations qui émanent du miroir SS restent toujours horizontales tant que le support CC reste vertical, mais l'azimut des vibrations peut prendre une valeur quelconque, qui est déterminée au moyen du cercle gradué.

Dès l'origine, j'ai cherché à donner au miroir une distance focale égale au quart ou aux trois quarts de la longueur d'onde propre au résonnateur que j'avais l'intention d'employer, afin que l'action de l'onde émanée directement de l'oscillateur s'ajoute à celle de l'onde réfléchie par le miroir. Mais le premier effet diminue si rapidement avec la distance que l'avantage obtenu est faible. C'est pourquoi j'ai fini par modifier la distance focale quand cela était commode pour la dimension des disques de l'oscillateur.

Comme on voit, on peut se servir de l'excitateur disposé de cette façon comme d'un nicol ou d'un autre appareil semblable de polarisation.

La figure 3 représente l'appareil que j'ai le plus fréquemment adopté, en particulier pour les ondes d'environ 10,6 cm. de longueur qui sont pratiquement les plus commodes dans la majorité des cas. Le miroir a 8 cm. de distance focale, 40 cm. de hauteur et 50 cm. d'ouverture; les disques qui portent les deux sphères de l'excitateur proprement dit sont en ébonite et ont environ 15 cm. de diamètre. On ne peut voir sur cette figure la disposition qui permet de régler la distance entre les deux sphères de l'oscillateur; elle est néanmoins facile à comprendre : le disque inférieur est fixé à demeure sur le miroir ou, plus exactement, à une forte nervure de laiton qui réunit, en arrière du miroir, les deux lames épaisses d'étain AB, CD auxquelles le miroir est soudé. Le disque supérieur est relié à une pièce mobile entre deux guides. Une vis micrométrique qui est située en arrière du miroir permet de commander le mouvement progressif de ce disque, même au cours d'une expérience.

Dans la figure 3, E est une des deux sphères communiquant avec la machine de Holtz, et F une des deux sphères de l'excitateur, fixée dans le disque d'ébonite. Les deux sphères terminales de la machine sont réunies à des fils de cuivre se terminant en forme de serre-fils G, H, qui passent dans des tubes de verre

convenablement recourbés et soutenus par deux colonnettes d'ébonite, dont une I est visible sur le dessin. Ces dernières peuvent se fixer à des hauteurs différentes, afin de faire ainsi varier la distance entre les sphères extrêmes et l'oscillateur proprement dit.

Les autres appareils que j'ai employés ont des détails divers de construction. Par exemple, le disque supérieur, au lieu de se déplacer dans la direction de l'axe de l'oscillateur peut être placé suivant un arc de cercle. La construction est alors assez simple. Le disque supérieur se prolonge en un levier qui passe à l'arrière du miroir par une ouverture et qui est articulé près du miroir lui-même. En tournant une vis placée à l'extrémité du levier, on rapproche les deux disques l'un de l'autre; un ressort antagoniste les

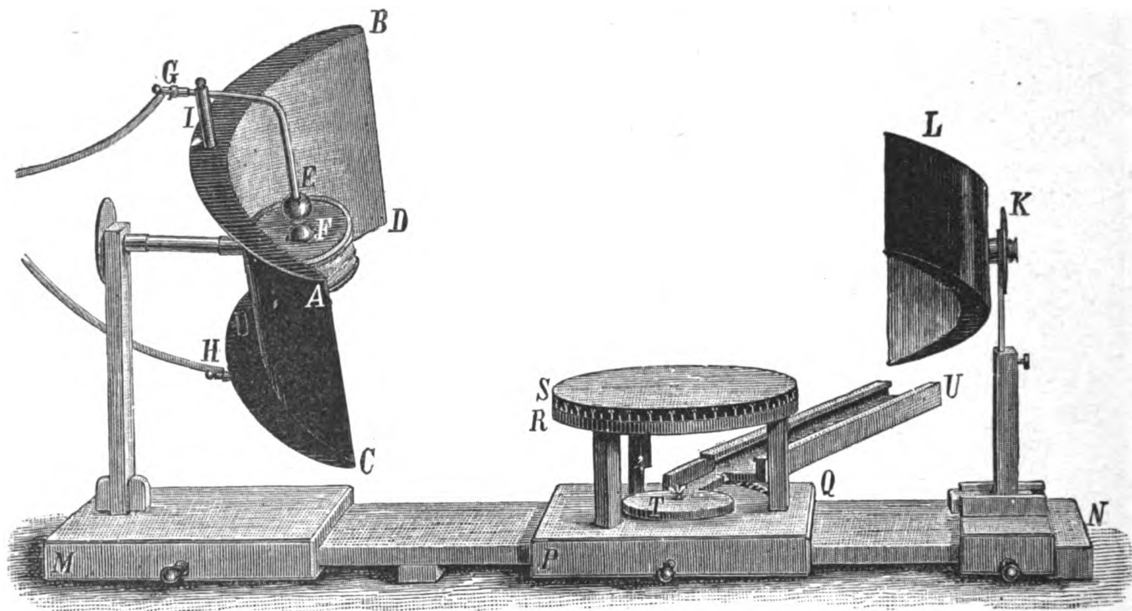


Fig. 3. — Vue perspective de l'excitateur et du résonnateur.

éloigne de nouveau lorsqu'on tourne la vis en sens opposé. Cette disposition est commode lorsqu'on désire pouvoir, à volonté, mettre ou retirer le miroir parabolique.

Pour un oscillateur donné, l'effet dépend beaucoup de la distance qui sépare les deux sphères, et aussi de la distance qui sépare celles-ci des sphères terminales de la machine. En d'autres termes, l'effet dépend de la longueur des trois étincelles. L'étincelle centrale doit être toujours beaucoup plus petite que les deux autres, de 0,08 cm., par exemple, quand les dernières ont 2 cm. Il est toujours très simple de trouver la meilleure distance en observant l'effet produit dans un résonnateur.

5° *Siège de production des oscillations.* — Dans ce qui précède, j'ai admis que les oscillations électriques qui, se propageant à distance, excitent les oscillations d'un résonnateur se produisent dans le système conducteur formé par les deux sphères métalliques séparées par la couche d'huile isolante mais reliées momentanément par une étincelle. Comme on pourrait objecter quelques doutes relativement à cette supposition toute spontanée, je crois bon, avant d'aller plus loin dans mon travail, d'exposer les raisons pour lesquelles je crois ces doutes peu fondés.

D'abord, l'effet obtenu dépend de la présence du liquide. Si l'on supprime celui-ci, un résonnateur qui est excité à plusieurs mètres de distance ne donne plus que quelques rares étincelles, et à une distance de

l'excitateur de quelques centimètres seulement.

L'action de l'oscillateur dépend beaucoup de la distance des deux sphères métalliques qui le constituent et non moins de la distance entre celles-ci et les deux sphères terminales de la machine. Ces faits seraient difficiles à expliquer si les oscillations utiles n'avaient pas le siège que je leur attribue. Si les deux sphères de l'oscillateur se touchent, l'action sur le résonnateur cesse aussitôt, même si ce dernier est très sensible et très proche.

Enfin, j'ai récemment reconnu que si les deux sphères sont creuses, l'efficacité de l'oscillateur est moins grande que quand elles sont pleines, ce qui était peut-être peu facile à prévoir. Par exemple, avec un oscillateur formé de sphères massives d'environ 4 cm. de diamètre, l'effet produit sur un résonnateur ne cessait qu'à environ 11 mètres de distance, tandis que si l'on substituait des sphères de même diamètre extérieur, mais dont les parois n'avaient que 0,15 cm. d'épaisseur, l'effet produit sur le même résonnateur cessait déjà à 6 m. environ de distance. Deux autres sphères à parois plus minces donnèrent un résultat encore plus faible. Les sphères terminales de la machine peuvent être indifféremment pleines ou creuses et, entre certaines limites, avoir un diamètre plus ou moins grand, sans que les effets produits sur le résonnateur soient sensiblement affectés. De même, les dimensions et la disposition des fils qui vont à la machine électrique n'ont pas d'influence sensible.

M. Zehnder a récemment proposé une autre explication du mode d'action de mes oscillateurs [1]. Si j'ai bien compris son raisonnement, il ne cherche pas à savoir si les décharges qui se produisent sont ou non oscillantes, il suppose que les deux étincelles dans l'air ne sont pas simultanées, mais se suivent à très bref intervalle. Chacune de celles-ci engendrerait une onde simple dans l'espace, et il pourrait arriver, dit-il, que l'expérience consiste à obtenir que l'ondulation engendrée par une des étincelles, commence au moment où finit celle engendrée par l'autre étincelle. On aurait alors deux ondes isolées qui se propageraient dans l'espace, et il ne serait possible d'observer d'interférence qu'avec une différence de trajet de $\frac{\lambda}{2}$ ou de $3\frac{\lambda}{2}$. M. Zehnder incline à croire que, de cette façon, on peut expliquer les résultats que j'ai obtenus. Cependant, au lieu de chercher une confirmation quelconque de son explication, il se borne à proposer deux expériences décisives. La première serait l'expérience d'interférence de Boltzmann ; la seconde consisterait à placer les deux sphères terminales de la machine non plus sur l'axe de l'excitateur, mais latéralement, en sorte que les deux étincelles qui éclatent dans l'air soient presque parallèles et presque à angle droit avec l'axe même de l'excitateur. D'après la théorie de M. Zehnder, dans la première expérience, on ne devrait pas observer d'interférence correspondant à plus de $3\frac{\lambda}{2}$ de différence de trajet et, dans la seconde expérience, toute action de l'excitateur devrait disparaître.

Cette dernière expérience n'est pas pratiquement facile à réaliser, mais la première, — celle de Boltzmann — est très commode, et je l'ai essayée à plusieurs reprises, en modifiant les conditions expérimentales. Or, j'ai toujours pu observer des interférences correspondant à des différences de trajet pas mal plus grandes que $3\frac{\lambda}{2}$ entre les deux rayons de force électrique interférents ; je ne doute pas que M. Zehnder n'eût obtenu un résultat semblable s'il avait fait lui-même l'expérience lorsqu'il avait monté un excitateur du type que j'ai décrit.

Il me semble donc qu'on ne peut douter que les oscillations électriques fournies par les excitateurs dans mes expériences, proviennent des décharges oscillantes engendrées dans le système des deux sphères séparées par le liquide isolant.

[1] ZEHNDER. *Wied. Ann.*, 1894, n° 5, p. 34.

6° *Les résonnateurs.* — Les résonnateurs originels de Hertz étaient de deux espèces : ils étaient formés soit d'un circuit métallique presque fermé, soit d'un conducteur rectiligne divisé en son milieu ; des étincelles se produisaient dans l'interruption de ces résonnateurs lorsque des oscillations électriques y étaient produites. Les résonnateurs dont il a été fait usage depuis sont, en principe, identiques à ceux de Hertz, mais les différents expérimentateurs ont employé divers artifices pour les rendre plus sensibles, ou rendre l'action plus visible à distance. Ces artifices sont multiples. En fait, ou l'on a cherché à rendre plus lumineuse ou plus volumineuse la petite décharge des résonnateurs au moyen d'un tube à gaz raréfié avec ou sans électrode auxiliaire communiquant avec une source d'électricité, ou l'on a cherché à avoir un signe visible de l'existence des oscillations électriques dans le résonnateur, soit au moyen d'un couple thermo-électrique ou d'un bolomètre, soit par la dilatation du résonnateur, ou la contraction d'une grenouille de Galvani, soit par un électroscope ou un galvanomètre réuni à une pile électrique, etc. ; dans quelques autres dispositifs, on a recours aux actions mécaniques produites par la charge alternative des extrémités du résonnateur ou des oscillations mêmes qui y sont formées, dans d'autres enfin, à la combinaison de gaz explosifs ou aux effets photo-électriques, etc. Tous ces moyens sont utiles pour la démonstration des phénomènes de Hertz dans les cours, mais pour la plupart, ils sont peu commodes pour les recherches de laboratoire.

Dans mes résonnateurs, je me suis donc tenu à la méthode originelle de Hertz, c'est-à-dire à l'étincelle ; mais j'ai cherché à la rendre plus brillante en la provoquant à la surface de verre.

Bien que la raison n'en soit pas encore exactement connue, on sait depuis longtemps qu'une même différence de potentiel peut donner lieu à des étincelles sensiblement plus longues lorsque celles-ci sont produites à la surface d'un corps isolant ou semi-conducteur que quand elles éclatent à l'air libre. Ainsi, par exemple, tandis qu'avec ma machine à influence, les plus grandes étincelles obtenues à l'air libre ont 30 cm. environ de longueur, et 12 cm. seulement lorsque cette machine est employée à charger une grande batterie de 108 larges bouteilles de Leyde, on obtient facilement de cette même batterie des étincelles longues de près de 3 m. à la surface de l'eau. On a souvent observé, d'autre part, avec quelle facilité on obtient de très longues étincelles lorsqu'un condensateur se décharge spontanément le long du verre, d'une armature à l'autre. Il se produit une action semblable dans mes résonnateurs.

Chacun de ceux-ci est constitué par une bande de verre argentée sur une partie de sa longueur. L'argent forme le résonnateur, et la partie de verre nu sert de manche ou de support. L'interruption pour l'étincelle est ensuite obtenue en enlevant l'argent au milieu de la longueur suivant un trait transversal assez étroit, dans lequel le verre est mis à nu.

La sensibilité de ces résonnateurs augmente quand on diminue la largeur de l'étincelle. Si celle-ci est faite au diamant, de façon que l'intervalle mis à nu n'ait que deux millièmes de millimètre de largeur, la sensibilité devient réellement extraordinaire. Pour des grands résonnateurs, pour ceux, par exemple, qu'on emploie avec des longueurs d'onde de 20 cm. ou plus, la sensibilité est, dans la plupart des cas, encore suffisante si l'entaille est faite avec une règle et un canif (1).

Naturellement, la longueur d'onde des oscillations propres à un résonnateur dépend de ses dimensions, et j'indiquerai plus loin les dimensions de ceux dont j'ai principalement fait usage.

---

(1) Pour montrer à plusieurs personnes l'étincelle qui se produit dans les grands résonnateurs (ceux qui correspondent à $\lambda = 20$ cm.), il est avantageux de pratiquer non pas une seule entaille, mais un grand nombre de traits très fins dans l'argent, au moyen d'un diamant, en les répartissant sur toute la longueur du résonnateur. Celui-ci se comporte alors comme un tableau fulminant, puisque, dans toutes les interruptions, se produisent des brillantes étincelles vertes.

J'ai construit aussi des résonnateurs circulaires, en enlevant une partie de l'argent d'un miroir, de façon à ne laisser qu'un anneau fermé. Avec le diamant, on fait ensuite une entaille radiale. Cependant, j'ai adopté de préférence les résonnateurs rectilignes auxquels j'ai pu appliquer un miroir parabolique. Pour les plus petits appareils, j'ai toujours observé les étincelles avec un oculaire.

D'après quelques auteurs [1], dans un résonnateur rectiligne, chacune des deux moitiés se comporte de la même façon qu'un tube sonore ouvert à ses deux extrémités, dont les ventres correspondent aux points du conducteur où se produisent les plus grandes variations de potentiel, et où le courant est nul et le nœud central au point du conducteur où le potentiel ne varie pas et où le courant alternatif a l'intensité maxima. Les étincelles qui s'observent dans l'interruption semblent dues à ce que l'extrémité d'un des deux conducteurs prend un potentiel positif, tandis que l'extrémité contiguë de l'autre conducteur prend un potentiel négatif *et vice versa.* D'après la façon dont se comportent mes résonnateurs, on est conduit à admettre que le résonnateur entier en action se comporte comme un seul tube ouvert. Suivant moi, l'étincelle relie les deux moitiés conductrices du résonnateur de façon à en faire un conducteur unique dans lequel se produisent des oscillations électriques analogues aux oscillations de l'air dans un tube sonore. Les deux extrémités du résonnateur sont des ventres, et le milieu de l'étincelle est un nœud, ce qui revient à dire qu'aux deux extrémités du résonnateur on a des variations maxima périodiques du potentiel et un courant nul, tandis qu'en correspondance avec l'étincelle, on a un potentiel nul et un courant ondulatoire maximum.

Pour corroborer mon opinion, je citerai les deux faits suivants :

1° Un fil métallique très fin, de la même longueur à peu près qu'un résonnateur, agit comme tel, et l'on y reconnaît des ondes *secondaires* (voir le chapitre VII de ce Mémoire), qui s'y produisent et qui peuvent agir sur un résonnateur ordinaire.

2° Si, le long d'un résonnateur en action disposé parallèlement à l'oscillateur qui l'excite, on déplace une des extrémités d'un second résonnateur (qui peut être plus court), tenu perpendiculairement au premier, et qui est donc soustrait à l'action de l'oscillateur, on voit dans le second de vives étincelles quand il est en face une des extrémités du premier ; mais ces étincelles diminuent peu à peu jusqu'à disparaître lorsque le second résonnateur arrive au milieu de la longueur du premier.

Quand on expose un nouveau résonnateur aux radiations de l'oscillateur, en le tenant d'abord à une très grande distance et en l'approchant ensuite peu à peu, à un certain moment, les étincelles apparaissent ; elles se suivent avec une très grande rapidité et se déplacent le long de l'entaille faite au diamant dans la couche d'argent ; on voit ainsi, simultanément, un grand nombre d'étincelles dans cet intervalle, comme une suite d'étoiles vertes très brillantes. Peu à peu, cependant, le résonnateur restant à la même place, les étincelles deviennent plus rares et plus grandes ; elles cessent ensuite complètement ; pour les voir réapparaître, il faut rapprocher davantage le résonnateur de l'excitateur, et ainsi de suite ; La sensibilité d'un résonnateur diminue donc assez rapidement. En le regardant de temps en temps au microscope, l'entaille faite au diamant, qui avant l'expérience était très étroite, et dont les bords étaient très nets, se montre de plus en plus large et avec de profondes hachures irrégulières. La diminution progressive de la sensibilité est donc causée par la combustion de l'argent. Dans une série d'expériences, il en résulte qu'on doit changer fréquemment de résonnateur et en prendre un nouveau ; il est donc nécessaire d'avoir toujours prêts d'avance quelques douzaines de résonnateurs. Ce n'est pas un grave inconvénient, en raison de la facilité avec laquelle on

(1) Toepler. *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 306 et 464.

peut en préparer en peu de temps un assez grand nombre.

Il arrive quelquefois qu'un résonnateur nouveau ne donne pas d'étincelle même à une distance modérée de l'oscillateur. Si alors on le rapproche doucement, en le touchant s'il est nécessaire avec un des conducteurs de la machine, l'étincelle apparaît tout à coup. Il faut alors l'éloigner promptement afin de ne pas l'user inutilement, puisqu'après cette première excitation, il a acquis sa sensibilité normale. Il semble que cette curieuse façon de se comporter d'un résonnateur se produit lorsque l'entaille du diamant n'est par parfaite, mais laisse quelque légère communication entre les deux moitiés argentées. Les oscillations électriques intenses finissent par échauffer et désagréger le mince filament, ce qui remet le résonnateur dans les conditions normales.

J'ai cependant observé qu'un résonnateur qui est éloigné peu à peu de l'excitateur à une distance où d'abord il ne donnait aucun résultat, continue à donner encore des étincelles. Peut-être ce résultat est-il dû à la chaleur développée par ses propres étincelles. Un phénomène analogue s'observe quand, d'un autre côté, on expose un résonnateur à une radiation électrique d'intensité décroissante.

7° *Détails de construction des résonnateurs.* — Les plaques argentées que j'ai adoptées ont toujours été celles des miroirs du commerce, ou des plaques de verre argentées par le procédé Martin. En général, les miroirs sont préférables, tandis que les plaques argentées au laboratoire donnaient des résultats meilleurs pour les très petits résonnateurs (pour des longueurs d'onde d'environ 2 1/2 cm.).

Avec un miroir ABCD (fig. 4), on commence par mettre le verre à nu avec un couteau de charpentier guidé par une règle, de telle façon qu'il ne reste intacte que la portion rectangulaire EFHG, dont la largeur EG = FH doit être égale à la longueur définitive des résonnateurs. Cela fait, si l'on emploie un miroir du commerce, il est nécessaire d'enlever le vernis brun qui recouvre l'argent, sinon complètement, tout au moins près de la ligne LM, parallèle à EF et GH et équidistante de celles-ci. Suivant la composition du vernis, on y parvient en le lavant avec de l'éther sulfurique à la température ordinaire, ou avec de l'alcool absolu, ou de l'essence de térébenthine bouillante, et en aidant le détachement du vernis, s'il est nécessaire, en frottant avec un peu d'ouate.

On arrive alors à la partie la plus délicate de l'opération, qui consiste à diviser l'argent en deux parties par un trait LM. La plaque doit être placée horizontalement entre deux guides sous la pointe de diamant dont on a d'abord bien réglé la position ainsi que la pression qu'elle exerce sur la plaque, afin qu'elle

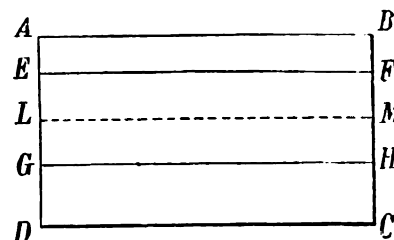


Fig. 4. — Procédé de fabrication des résonnateurs.

coupe dans l'argent un trait bien droit, très franc et de la largeur voulue. En général, le diamant, fixé à un des bras d'un levier horizontal, doit exercer, à peine par son propre poids, une pression très légère sur l'argent. La qualité de l'entaille se reconnaît au microscope.

Une fois cette opération terminée, il ne reste plus qu'à couper le verre en bandes parallèles aux côtés AD, BC et de la largeur voulue, pour avoir un assez grand nombre de résonnateurs prêts à servir. Pour faire rapidement et régulièrement les entailles du verre, j'ai employé le chariot d'un tour. Sur la partie fixe de celui-ci, j'ai adapté une petite table de bois horizontale; sur cette table, j'ai fixé avec des pointes très courtes la plaque à découper, tandis que, sur le chariot mobile, j'ai fixé une tige de verre le long de laquelle je faisais courir le diamant. Cette tige est parallèle à la lame de verre et aux côtés AD, BC de celle-ci, et en

est très voisine, sans la toucher. En tournant une vis, la tige se déplace parallèlement à elle-même; cette vis a un pas de 4 millimètres. Quand je voulais faire de larges résonnateurs, par exemple, de 2 millimètres (comme ceux dont j'ai le plus souvent usage), je n'avais donc qu'à faire faire un demi-tour à la vis entre un trait de diamant et le suivant.

L'épaisseur du verre argenté ne doit pas être trop forte, sinon il est difficile de séparer les résonnateurs. Si ceux-ci ont 2 millimètres, on peut adopter commodément les petits miroirs argentés du commerce; mais pour des résonnateurs larges d'un millimètre ou moins encore, il faut recourir à des lames de verre d'un millimètre ou moins d'épaisseur.

Avec un peu d'habitude, cette série d'opérations se fait rapidement. Par exemple, en un peu plus d'une heure, on réussit à préparer deux cents résonnateurs tels que ceux qu'on emploie le plus communément pour des longueurs d'onde $\lambda = 10,6$ cm.

8. *Dimensions des oscillateurs et des résonnateurs.* — Au début de mes recherches, mon seul but était d'obtenir des ondes de faible longueur. Pour cela, je commençai par préparer des excitateurs de plus en plus petits, et je cherchai à déterminer, pour chacun d'eux, quelles dimensions il fallait donner aux résonnateurs correspondants afin d'obtenir des étincelles à la plus grande distance possible. Ces recherches étaient conduites de la façon suivante : dans une lame de verre argenté de grandes dimensions, préparée avec la pointe de diamant comme je l'ai expliqué dans le paragraphe précédent, je taillais un certain nombre de résonnateurs que je séparais en plusieurs groupes de longueur, d'épaisseur et de largeur diverses. Je présentais ces résonnateurs un à un aux oscillateurs en action, d'abord à une assez grande distance; je les rapprochais peu à peu ensuite, et je notais la position dans laquelle ils commençaient à étinceler. Je pouvais voir ainsi quels étaient ceux qui se montraient les plus sensibles.

Pour pouvoir reconnaître des différences assez grandes entre les divers résonnateurs, il était nécessaire que leurs dimensions respectives fussent très divers et, partant, ils avaient des périodes propres d'oscillations différentes. On sait qu'un même oscillateur peut exciter des résonnateurs à longueurs d'onde différentes, ce qu'on attribue généralement à la rapide diminution d'intensité et aussi à l'amortissement rapide des oscillations dans l'oscillateur. Il n'en suit pas qu'une fois un oscillateur construit, on ait une grande latitude dans le choix des résonnateurs correspondants.

Dans la note citée plus haut, les dimensions des appareils employés se rapportaient à des longueurs d'onde de 20 cm. à 7,5 cm. [1].

Ensuite, j'ai été conduit à intervertir la marche des expériences, c'est-à-dire à rechercher quelles étaient les dimensions les plus convenables à donner aux oscillateurs afin qu'un même résonnateur donnât des étincelles plus vives ou s'illuminât de plus loin.

On pourrait croire tout d'abord que ce mode d'opération conduit à des résultats semblables à ceux que fournit la première méthode, mais il n'en est rien.

Supposons, en effet, qu'avec un excitateur formé de deux sphères de 1,36 cm. de diamètre, on ait trouvé que, entre des résonnateurs de dimensions très variables, ceux correspondant à $\lambda = 10,6$ cm., répondent le mieux. Si nous exposons ces résonnateurs à l'action d'un oscillateur formé avec des sphères plus grosses, par exemple, de 3 à 4 cm. de diamètre, ils seront plus sensibles qu'en face de l'oscillateur primitif. Naturellement, un

(1) Par suite d'une erreur de transcription, dans le § 2 de cette note, on a attribué aux résonnateurs construits pour $\lambda = 7,5$ cm., les dimensions des résonnateurs correspondant à $\lambda = 10,6$ cm. Je me suis aperçu de l'erreur en lisant dans la *Nature* (n° 1259, 14 décembre 1893, p. 167), que dans les expériences faites par M. Rubens et présentées à la Société de physique de Berlin, la longueur d'onde était de 10 cm. environ, ce qui est évident en admettant que l'auteur ait fidèlement adopté les dimensions que j'avais indiquées.

résonnateur correspondant à une plus grande valeur de λ, par exemple, $\lambda = 20$ cm., serait encore plus sensible à un oscillateur de plus grandes dimensions.

On voit donc qu'on a avantage, pour un résonnateur donné, à employer un oscillateur plus grand que ceux pour lesquels le résonnateur semble le mieux adapté par ses dimensions, ce qui tient certainement à la plus grande quantité d'électricité mise en jeu dans les décharges oscillantes des plus grands oscillateurs.

On est ainsi conduit à augmenter quelque peu les dimensions des oscillateurs; j'ai fini par adopter les appareils dont les dimensions caractéristiques en centimètres sont contenues dans le tableau suivant :

Tableau I.

LONGUEURS D'ONDE ET DIMENSIONS DES EXCITATEURS ET DES RÉSONNATEURS

DÉNOMINATION des appareils.	LONGUEUR des résonnateurs.	LARGEUR des résonnateurs.	LONGUEURS d'onde.	DIAMÈTRE des sphères des oscillateurs.
III	0,9	0,1	2,6	0,8
II	4,—	0,2	10,6	3,75
I	10,—	0,6	20,—	8,—

Naturellement, il ne faut pas trop exagérer les dimensions des excitateurs. Par exemple, le plus petit résonnateur ($\lambda = 2{,}6$ cm.) s'excite sensiblement moins avec l'oscillateur formé avec des sphères de 3,75 cm. qu'avec l'oscillateur formé avec des sphères de 0,8 cm. de diamètre.

Les plus grands appareils conviennent pour montrer les expériences fondamentales à plusieurs personnes, comme aussi pour certaines recherches, sur la diffraction, par exemple. Les appareils II ($\lambda = 10{,}6$ cm.) sont ceux qui conviennent le mieux pour les recherches de laboratoire. Les appareils III, qui sont les plus petits, ne sont utiles que dans certains cas spéciaux.

Les chiffres suivants serviront à donner une idée de la sensibilité extraordinaire des appareils que j'ai employés.

Avec les résonnateurs I excités par les oscillateurs II, l'effet est encore très visible lorsque les deux appareils, munis tous deux de leurs miroirs paraboliques sont éloignés l'un de l'autre de 25 mètres, c'est-à-dire à une distance de 125 fois environ la longueur d'onde. Il ne m'a pas été possible de rechercher à quelle distance ces mêmes, résonnateurs I s'excitent avec les oscillateurs I, mais je crois ne pas exagérer en affirmant qu'elle est au moins double de la première.

Avec les appareils II, la plus grande distance à laquelle les étincelles se manifestent encore est supérieure à 20 mètres, c'est-à-dire à 190 fois la longueur d'onde.

Enfin, avec les appareils III, l'effet s'observe jusqu'à environ 0,80 m., c'est-à-dire à environ 31 longueurs d'onde ; on pourrait certainement les perfectionner beaucoup, s'il était nécessaire, en augmentant un peu les dimensions des réflecteurs ou en les construisant avec plus de soin et surtout en donnant aux résonnateurs une largeur moindre et une longueur un peu supérieure.

Naturellement, cette distance maxima diminue si l'on supprime les réflecteurs des résonnateurs et plus encore si l'on supprime le miroir des oscillateurs. Par exemple, on obtient un effet très sensible sans les miroirs, lorsque les appareils I sont placés à une distance de 3 ou 4 mètres l'un de l'autre.

9. *Disposition des résonnateurs.* — Dans la majeure partie des cas, il est avantageux de munir les résonnateurs d'un miroir cylindro-parabolique. Cette disposition est représentée en L (fig. 3) et aussi dans la figure 5 qui représente une coupe des appareils faite perpendiculairement au résonnateur. Les résonnateurs se fixent en A au moyen de deux élastiques, contre une tige d'ébonite BC de la longueur du miroir. Cette tige peut être fixée ou facilement mobile, afin de pouvoir changer le résonnateur quand il est nécessaire. En son milieu et, par conséquent, au milieu du résonnateur, on y adapte un petit cylindre creux en ébonite, qui va jusqu'à la surface

du miroir SS et constitue, avec le tube de laiton FG qui soutient le miroir, une espèce de chambre obscure dans laquelle on observe les étincelles du résonnateur au moyen d'une lentille convergente H, à travers un petit trou I pratiqué en face dans le miroir. Le tube peut tourner dans le manchon LM et est muni d'un index N qui se meut devant la graduation d'un disque OP lorsqu'on incline le résonnateur et son miroir.

Dans la figure 3, on voit le réflecteur L du résonnateur et le cercle gradué K représenté en OP dans la figure 5. Le réflecteur L (fig. 3) qui sert pour des longueur d'onde $\lambda = 10{,}6$ cm. est haut de 21 cm. et large de 25 cm. entre

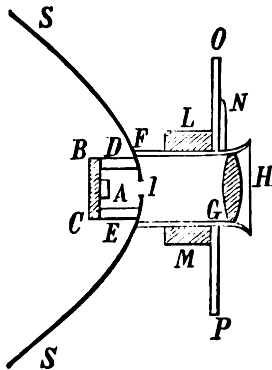


Fig. 5. — Coupe du résonnateur muni de son miroir et de son viseur.

ses bords rectilignes; sa distance focale est d'environ 2,6 cm. (un quart d'onde).

Les résonnateurs ainsi montés s'emploient comme des analyseurs optiques et, suivant la nature des recherches, peuvent fournir les indications suivantes :

a. *Détermination de l'azimut des oscillations qui parviennent au résonnateur.* — Si, par la nature des recherches, l'orientation des oscillations qui parviennent au résonnateur est inconnue, et qu'il soit nécessaire de la déterminer, on n'a, pour cela, qu'à tourner le résonnateur autour de son axe horizontal, jusqu'à ce que les étincelles qu'on y observe acquièrent l'éclat maximum et la fréquence maxima. Mieux encore, on pourrait éloigner angulairement dans les deux sens le résonnateur à partir de l'orientation où les étincelles sont maxima jusqu'à ce qu'elles s'éteignent ou tendent à s'éteindre et prendre pour l'orientation cherchée celle qui est médiane aux deux orientations ainsi déterminées. On pourrait aussi éloigner angulairement dans deux sens le résonnateur à partir de l'orientation où, pour une certaine sensibilité, il ne donne pas d'étincelles (orientation qui est à angle droit avec celle qu'on cherche) jusqu'à ce que les étincelles paraissent à peine. L'orientation perpendiculaire à la médiane de ces deux directions est celle qu'on cherche.

b. *Mesure de l'intensité des radiations.* — Si l'on connaît l'azimut des oscillations qui parviennent au résonnateur, on peut en mesurer approximativement l'amplitude relative en diverses circonstances et, par conséquent, l'intensité relative. Cette mesure est nécessaire, par exemple, dans l'étude de la diminution d'intensité qu'on obtient en plaçant certains corps sur le trajet des radiations. Si les vibrations sont verticales, on inclinera le résonnateur à partir de la verticale en faisant tourner le tube FG (fig. 5), jusqu'à ce que les étincelles s'éteignent ou tout au moins deviennent très faibles et très rares. On répète ensuite l'opération après avoir placé le corps en expérience sur le trajet des radiations. Le rapport des cosinus des deux angles ainsi déterminés sera égal au rapport des amplitudes des oscillations qui, dans les deux cas, parviennent au résonnateur.

c. *Détermination de la direction d'un rayon de force électrique.* — Dans les expériences sur la déviation par un prisme, il est nécessaire de déterminer la direction des rayons émergents, ainsi que nous le verrons plus loin. On fait alors tourner le résonnateur et un bras mobile qui le soutient jusqu'à ce que les étincelles deviennent maxima. Afin de ne pas détériorer trop rapidement le résonnateur, on peut le disposer, dans une direction non pas parallèle à la direction des vibrations mais plus ou moins inclinée, de telle façon que ces vibrations n'agissent sur lui que par une

de leurs composantes et qu'il ne donne que de faibles étincelles dans la position du maximum, c'est-à-dire dans la position cherchée.

d. *Emploi des résonnateurs dans les cas où les vibrations sont elliptiques ou circulaires.* — Nous dirons plus loin comment on est parvenu pour la première fois à produire des oscillations de ces espèces. Si l'on a des vibrations circulaires, on le reconnaît à ce fait que les étincelles dans le résonnateur conservent un éclat constant lorsqu'on le fait tourner autour de son axe. Si le résonnateur donne des étincelles dans tous les azimuts, mais que celles-ci soient d'intensité variable, présentant un maximum pour un certain azimut et un minimum pour un second azimut perpendiculaire au premier, cela indique que les vibrations sont elliptiques. Les deux azimuts déterminés de cette façon sont ceux des axes de la vibration elliptique.

Il est évident que si l'ellipse est assez allongée et que le résonnateur n'est pas suffisamment sensible, on ne verra l'étincelle ni dans l'orientation du petit axe ni dans son voisinage; alors, il y aura doute si la vibration est elliptique ou rectiligne. Cependant, comme la diminution des étincelles qu'on obtient en tournant le résonnateur à partir de l'azimut correspondant au maximum est plus lente dans le cas d'une vibration elliptique que dans celui d'une vibration rectiligne, on peut, après avoir acquis une certaine pratique, réussir à déterminer quelle est la forme de la vibration.

Si, au contraire, l'ellipse est peu différente d'une circonférence; les variations des étincelles produites pendant la rotation du résonnateur autour de son axe sont assez peu sensibles et elles peuvent facilement passer inaperçues. Dans ce cas, on peut avec avantage, par un procédé quelconque, — par exemple en éloignant suffisamment le résonnateur, — atténuer l'action qu'il subit et alors, observer si l'on parvient à éteindre les étincelles pour une certaine orientation. Dans ce cas, cette orientation indiquera la direction du petit axe de l'ellipse.

10. *Résonnateur sans miroir parabolique.* — Pour quelques recherches, comme, par exemple, une partie de celles qui ont trait à l'interférence et à la diffraction, on ne peut adopter un résonnateur muni d'un miroir parabolique. Cependant, même dans ce cas, il est commode que le résonnateur soit mobile autour d'un axe parallèle au trajet des radiations. L'appareil reste semblable à celui qui est représenté dans la figure 5, moins le miroir parabolique SS.

Toutes choses égales, les étincelles du résonnateur sont alors assez faibles, comme on pouvait le prévoir.

Mais on peut augmenter leur intensité en mettant, en place du réflecteur SS, une simple bande de cuivre parallèle au résonnateur, large, par exemple, pour les appareils de $= 10{,}6$, de 1 cm. et longue de 15 ou 20 cm.; cette bande est percée en son milieu, afin de ne pas empêcher l'observation des étincelles avec la lentille H. La distance au résonnateur doit être égale à environ le quart de la longueur d'onde.

La bande de cuivre, quoique très étroite, produit un phénomène de réflexion, ce qui donne lieu à une augmentation d'intensité des oscillations du résonnateur, pour la position qu'il occupe. Mais, en outre, à cette action vient s'en ajouter une autre dont nous parlerons plus loin en détail. Nous dirons seulement, pour l'instant, que les oscillations électriques, excitées dans le résonnateur, génèrent à leur tour des ondes *secondaires* qui se propagent à l'intérieur. Ces ondes secondaires se réfléchissent sur la lame de cuivre, arrivent de nouveau sur le résonnateur avec une phase appropriée pour augmenter les oscillations qui existent déjà en celui-ci. De toute façon, la sensibilité du résonnateur reste toujours de beaucoup inférieure à ce qu'elle est lorsqu'il est muni de son miroir.

Pour quelques expériences, j'ai adopté une disposition intermédiaire; j'ai muni le résonnateur d'une bande cylindrique large de quelques centimètres (6 cm. environ), qui a à peu près la forme de la partie centrale du ré-

flecteur cylindrique L de la figure 3. Même les ondes qui parviennent à cet étroit miroir concave ne sont pas planes, il les concentre dans une proximité suffisante du résonnateur, qui donne ainsi des étincelles assez vives.

11. *Observations finales sur les appareils.* — Dans le cours d'une même expérience, on n'a presque pas besoin de s'occuper des oscillateurs pour que la distance des sphères reste constante. Il faut, au contraire, consacrer une attention continuelle aux résonnateurs et les renouveler souvent, particulièrement lorsqu'on doit faire des expériences comparables. Comme les résonnateurs taillés dans une même plaque de verre argenté ne présentent pas de différence perceptible de sensibilité, on peut, en général, les substituer librement les uns aux autres.

Quand on doit juger de l'égalité ou de l'inégalité des étincelles vues en deux cas différents, on éprouve tout d'abord une certaine difficulté par le fait que, en général, ces étincelles offrent une variabilité ou intermittence, surtout lorsqu'elles sont très faibles. Mais on acquiert rapidement une certaine pratique qui permet de se former un guide certain sur l'intensité de l'effet, basé non seulement sur la vivacité des étincelles, mais encore sur leur plus ou moins grande fréquence. Il en résulte que, quoique les appareils que nous venons de décrire soient plus que tous les autres aptes aux recherches qualitatives, cependant, employés par des personnes, même qui n'ont pas beaucoup de pratique, ils peuvent fournir par les mesures angulaires, des résultats quantitatifs d'une précision plus grande qu'on pourrait le croire *à priori*.

J'ai construit, au cours de mes recherches, beaucoup d'appareils accessoires; j'en donnerai la description au fur et à mesure que cela sera nécessaire pour la clarté de l'exposition.

(*A suivre.*)

A. Righi,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Tramways électriques à conducteur souterrain.

Le prix de revient beaucoup trop élevé et l'imperfection des systèmes à conduite souterraine semblaient jusqu'ici rendre difficile l'application de ces systèmes de tramways sur une grande échelle. Ce n'est que dans les dernières années que des progrès sensibles ont été faits dans ce domaine.

Dans la *Gazette de Lausanne* il est, à ce propos, question d'un nouveau tramway électrique qui a fait parler de lui à la fin de l'année passée, sous le nom de système Hœrde, et dont voici une courte description.

La voie ne diffère, à première vue, pas essentiellement des autres voies ordinaires; seulement le long d'un des rails on aperçoit une plaque de fer cannelé d'une largeur de 15 cm. environ et qui laisse entre le rail et elle une fente. Cette fente a la largeur exacte d'une ornière de rail à gorge. A des intervalles de 1,50 m. se trouvent le long du fer cannelé des boîtes en fonte, fermées d'un couvercle. Ce couvercle enlevé, on peut dévisser le fer cannelé qui a la forme d'une équerre. Alors on découvre un canal de 69 cm. de profondeur et d'une largeur de 35 cm. environ. Dans la partie supérieure, plus étroite, se trouve le fil conducteur. Pour les réparations, il est, par suite de cette construction, facile d'arriver au conducteur sans même dépaver; il suffit pour cela d'enlever le fer cannelé.

Le grand canal ne sert qu'au drainage, pour que, même par de fortes pluies, le fil conducteur ne soit jamais immergé. Ce canal est complètement construit en tôle d'acier. Au point de jonction des deux pièces se trouvent des appuis, perpendiculaires aux rails, en acier comprimé, qui servent d'une part à souder les pièces du canal et d'autre

part à la jonction intime de ce canal avec la voie proprement dite.

Jusqu'à présent on ne connaissait que des canaux de béton et de maçonnerie. Le grand avantage du canal en acier *Hœrde* est, non seulement d'être plus solide, moins long à poser et beaucoup meilleur marché que le canal de béton, mais encore d'être joint si intimement à la voie proprement dite, qu'il lui sert d'étai dans une mesure importante.

Lorsque le terrain subit des glissements sous le canal de béton, celui-ci suit le mouvement et se détache complètement des parties supérieures de la voie, ce qui fait que les pierres, la boue et la terre y trouvent un accès facile par en haut et pénètrent dans le canal de drainage qu'ils arrivent peu à peu à obstruer complètement et à mettre hors d'état.

Il en est autrement du canal « Hœrde ». Celui-ci étant en acier, peut être vissé ou soudé aux autres parties de la voie. Il ne peut donc pas se séparer du reste et demeure par là toujours propre.

Les réparations elles aussi se font plus vite et à meilleur marché que dans le canal de béton, car les pièces à changer ont une forme fixe tandis qu'avec le béton il faut, après avoir effectué le dépavage, détruire la maçonnerie et la rétablir à neuf.

Des fosses disposées de distance en distance permettent l'accès du canal de drainage.

La Société des « Mines et Fonderies de Hœrde » a fait des essais nombreux avec ce système. Le mètre courant de la voie complète coûte de 40 à 50 francs et l'on n'a qu'à ajouter les frais d'installation, qui sont minimes, car le système « Hœrde » s'établit aussi vite que n'importe quelle conduite d'eau ordinire. De plus, le canal d'acier à accès facile du haut peut facilement être employé par les compagnies de gaz et d'eau pour l'installation de tuyaux de petites dimensions. Les revenus tirés de cet arrangement ne sont pas à dédaigner.

Le drainage du canal lui-même est fort simple, ou bien on installe des tuyaux en fer qui le mettent en communication avec les égouts, ou bien, s'il n'y en a point à proximité, on installe des canaux de dérivation aux points les plus bas.

La fente mentionnée plus haut permet le passage du bras de contact. Celui-ci porte le galet qui prend le courant du conducteur pour le transmettre au moteur électrique placé dans la voiture.

Le retour du courant passe du moteur aux rails et va de là à la station centrale.

L'obstruction de la fente de contact est impossible, car le passage continu du bras de contact la débarrasse de tous les débris qui pourraient s'y être glissés. Le nettoyage du canal se fait au moyen de brosses fixées au bras de contact. Pour éviter la rouille, toutes les pièces sont plongées trois fois à chaud dans un bain de goudron.

La Société des mines et fonderies de Hœrde (en Westphalie) a fait de nombreux essais de ce système. On nous affirme qu'ils ont réussi.

La direction admet, au reste, tout le monde à visiter le tramway installé dans ses usines.

A. H.

Machines à courants alternatifs simples et à courants polyphasés de la Société générale d'électricité de Berlin, par M. V. Dolivo-Dobrowolsky (1).

Le nombre relativement grand de pôles magnétiques dans les machines à courants alternatifs, nombre dû à la nécessité d'atteindre une grande fréquence à une vitesse angulaire faible, rend en général difficile de donner aux inducteurs des dimensions économiques. Mais on obtient une notable économie en excitant tous les pôles ensemble par une même bobine, au lieu d'exciter chaque pôle séparément.

Le premier alternateur à bobine excitatrice unique est probablement celui de Klimenko, de Charkow; cette machine parut en 1883 à l'Exposition électrotechnique de Vienne et excita un grand intérêt. Mais le mauvais choix des proportions de cette machine s'opposa à

(1) Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin.

son emploi dans la pratique. L'alternateur Mordey, construit quelques années plus tard, est sans doute la première machine pratique à bobine excitatrice unique. Aujourd'hui, il existe de nombreuses modifications de ce type, comme par exemple les dynamos avec inducteur Brown construites par les ateliers d'Oerlikon.

On peut admettre que l'inducteur à bobine unique s'introduira dans la pratique, tout comme la couronne à pôles radiaux se substitue peu à peu dans les dynamos à courant continu aux autres formes d'inducteurs.

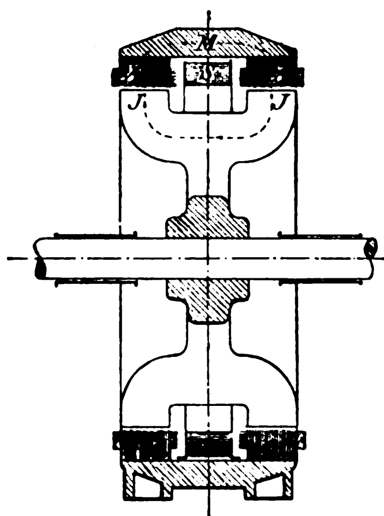


Fig. 1. — Alternateur de la Société générale d'électricité de Berlin. Coupe suivant l'axe.

A côté de son avantage principal d'une excitation plus économique, l'inducteur à bobine unique présente encore celui de permettre l'emploi d'une bobine fixe, de sorte que seul le noyau magnétique avec ses projections polaires est mobile. C'est ainsi que la machine de Klimenko n'avait pas de bobine mobile. Il pourrait en être de même dans l'alternateur Mordey, n'était la difficulté mécanique de la fixation d'une bobine très lourde au disque léger qui forme l'armature.

Après ce coup d'œil général, passons à la description de deux types d'alternateurs que construit la Société générale d'électricité.

Les deux types appartiennent à la catégorie des machines à bobine inductrice unique et fixe. Le premier mode d'exécution, représenté schématiquement par les figures 1 et 2, est spécialement approprié aux machines à grande vitesse, donc pour commande par courroie ou par câbles. On voit que le circuit magnétique est formé par la carcasse M, les couronnes

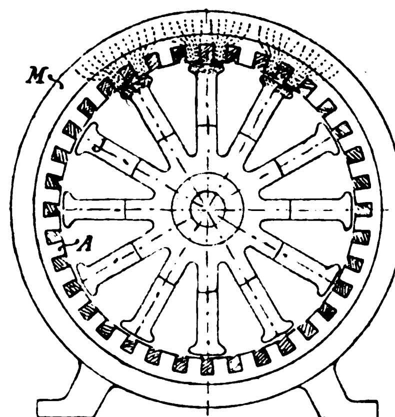


Fig. 2. — Alternateur de la Société générale d'électricité de Berlin. Coupe perpendiculaire.

ronnes dentées et lamellées A et l'inducteur à bras polaires J, représenté à part sur la figure 3, tandis que la bobine S fixée à l'enveloppe extérieure M produit l'excitation.

Les projections polaires de l'inducteur provoquent dans les rainures et à la surface inté-

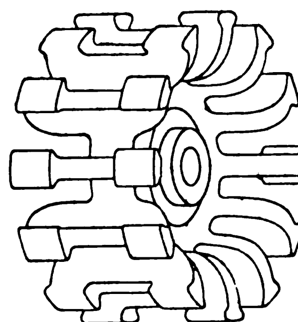


Fig. 3. — Inducteur à bras polaires de l'alternateur de la Société générale d'électricité de Berlin.

rieure des couronnes d'armature des intensités de champ très variables, de sorte que par la rotation de l'inducteur, les bobines d'armature visibles sur la figure 2 sont soumises à une action inductrice due aux variations du flux de force qui les traverse. A la surface extérieure de l'armature A le champ magnétique

est homogène, et les lignes de force peuvent donc passer sans inconvénient dans une carcasse massive comme l'enveloppe M.

Faisons remarquer que des machines d'un type analogue sont construites par Stanley, en Amérique, et par Sollmann, de la maison Wahl et Cie, en Russie.

La Société générale d'électricité a construit une série de machines de ce genre, ainsi que du type modifié représenté par la figure 4. Une génératrice à courants polyphasés de

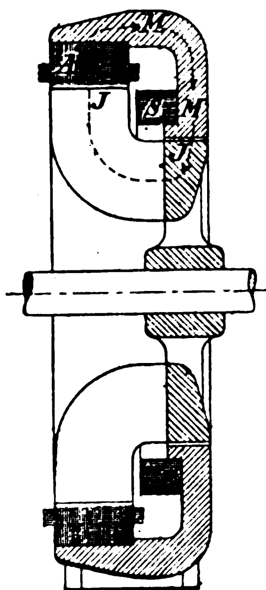


Fig. 4. — Autre alternateur à bobine inductrice unique.

100 chevaux de ce type, est en service à la raffinerie de sucre Schwengers à Uerdingen.

Il va de soi que ces machines s'adaptent aussi bien à la production du courant alternatif simple que des courants polyphasés. Dans la figure 2, le nombre de bobines de l'armature est le triple du nombre de projections polaires, de sorte que l'on obtient 3 courants décalés de 120 degrés l'un par rapport à l'autre. Au lieu de cette disposition, on peut réunir les enroulements induits en bobines croisées, ce qui est plus avantageux. Dans les machines de grandes dimensions, on peut alors employer l'enroulement croisé qu'indique la figure 5, où chaque bobine est formée d'une seule barre de cuivre. Trois machines de ce genre, de 300 chevaux chacune, sont actuellement en construction.

En dehors de ce type, qui convient aux vitesses angulaires relativement élevées, la Société générale d'électricité en construit un autre, de plus grand diamètre et convenant

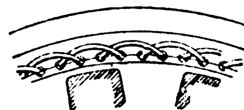


Fig. 5. — Enroulement croisé pour grandes machines.

mieux aux vitesses angulaires faibles, par conséquent à l'accouplement direct avec les machines à vapeur. Les figures 6 et 7 font reconnaître que le flux magnétique créé par la grande bobine excitatrice S est réparti uniformément dans l'enveloppe de fer M et dans les deux couronnes d'armature A, tandis qu'en-

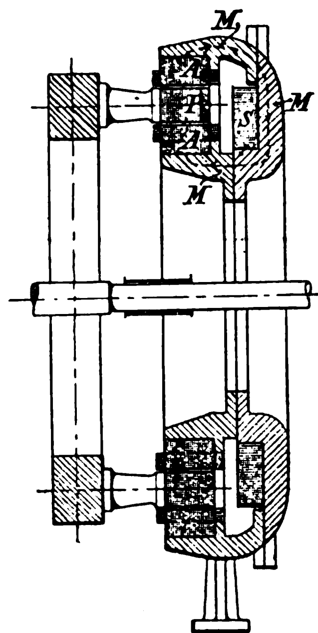


Fig. 6. — Alternateur à bobine inductrice unique à faible vitesse angulaire. Coupe suivant l'axe.

tre ces deux dernières le circuit magnétique est fermé par l'intermédiaire des pièces polaires mobiles P. Dans la rotation de ces pièces fixées au volant de la machine à vapeur, les densités maxima de flux se déplacent le long de la surface des deux armatures, et agissent

donc inductivement sur les bobines de ces armatures. On peut naturellement, par l'emploi de plusieurs bobines par pôle, obtenir des courants polyphasés.

La Société construit, pour la station centrale de Strasbourg, 5 machines à courants polyphasés de ce type, dont 3 de 400 chevaux et 2 de 200 chevaux.

Outre l'avantage de la suppression complète des balais frotteurs, ce qui réduit l'entretien au graissage des paliers, on remarquera la construction simple et robuste de ces ma-

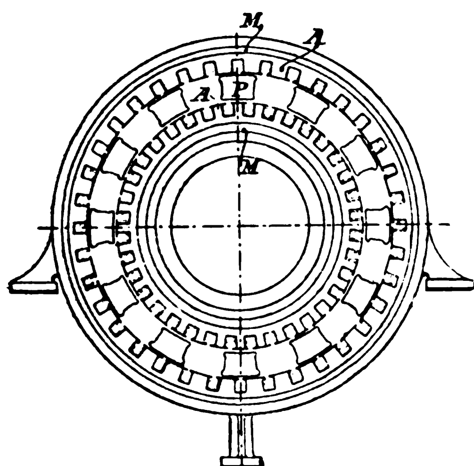


Fig. 7. — Alternateur à bobine inductrice unique à faible vitesse angulaire. Coupe perpendiculaire à l'axe.

chines. Tout contact accidentel avec l'enroulement à haute tension est rendu impossible par la protection qu'offre le volant en rotation à l'extérieur de la carcasse. Pour les réparations, il est d'autre part des plus faciles de séparer les deux parties principales de la machine, et d'obtenir accès à toutes les parties de l'armature.

Parmi les avantages de ce type au point de vue électrique il convient d'insister sur les suivants : excitation plus économique autant au point de vue de la dépense de cuivre dans la construction, qu'à celui de la dépense d'énergie ; très petite chute de potentiel intérieure, ce mode de construction permettant la production de flux intenses, et par suite l'emploi d'enroulements courts. A considérer encore la diminution de la perte par hystérésis, ce qui avec l'économie dans l'excitation donne un rendement très élevé, même aux faibles charges.

Voici d'ailleurs quelques données se rapportant à la machine de 400 chevaux destinée à la station centrale de Strasbourg :

Puissance : 280 kilowatts à 2.750 volts.

Vitesse angulaire : 150 tours par minute.

Nombre de pôles : 40.

Poids de cuivre de la bobine inductrice : 730 kilogrammes.

Poids de cuivre des deux armatures : 200 kilogrammes.

Excitation : 4000 watts = environ 1,4 p. 100.

Perte dans les deux armatures ensemble : 2 p. 100.

Perte totale par hystérésis : 1,3 p. 100.

Malgré ces pertes peu importantes la machine ne comporte donc guère plus de 2 kilog. de cuivre par cheval.

Le rapport des ampères-tours d'une bobine d'armature à ceux de la bobine excitatrice est de 1/15.

Les chiffres suivants montrent en outre que le poids de fer n'est pas non plus très élevé :

Carcasse	6.000 kg.
Les deux armatures.	2.000 —
Pièces polaires	750 —
Poids de fer total, arbres et paliers exceptés	8.750 kg.

Avant de terminer revenons un instant sur la question fréquemment discutée de la chute de potentiel la plus convenable à donner aux alternateurs.

On sait que Hopkinson avait trouvé par le calcul que pour la marche synchrone de deux alternateurs il existait une certaine proportion favorable entre la résistance et la self-induction, et que cette dernière jouait avant tout un rôle important. Beaucoup en conclurent qu'on devait donner aux machines beaucoup de self-induction, surtout parce qu'il est difficile de calculer à l'avance la proportion de Hopkinson. Mais comme les machines étaient dès lors trop favorisées sous le rapport de la

self-induction, elles se désynchronisaient souvent. On se l'expliquait en disant qu'il n'y avait pas encore assez de self-induction, et on s'efforçait de donner aux machines une réaction inductive telle que leur courant ne pouvait (en court circuit) dépasser 1 1/2 fois le courant normal.

Il y a quelques années, Mordey affirma alors tout le contraire : pour lui, les machines devaient avoir le moins de résistance et de self-induction possible. Malgré les démonstrations pratiques qu'il en donna, la croyance dans l'importance de la self-induction ne disparut pas. Toutefois, certains théoriciens se contentent aujourd'hui d'une chute de potentiel de 15 à 20 p. 100. Mais les constructeurs seront bientôt d'avis de n'attacher aucune importance à ces petites différences dans la proportion assignée à la self-induction, et construiront leurs machines, de manière à diminuer autant que possible la réaction.

La chute de potentiel présente de grands inconvénients qui se font surtout sentir dans l'alimentation de moteurs. La composante déwattée du courant agit dans le sens de la force magnétomotrice de la machine primaire; dans les circuits comprenant des moteurs on a donc un bien plus grand affaiblissement du champ magnétique que dans l'éclairage, et une machine qui présente avec ce dernier déjà 15 p. 100 de perte, n'est pas capable d'alimenter convenablement des moteurs. Si l'on considère que, pour les petits moteurs, cos φ dépasse rarement 0,7, et dans les très grands moteurs, 0,87, et qu'avec ces facteurs la composante déwattée du courant atteint 0,5 à 0,7 du courant total, on comprend l'influence défavorable de la réaction inductive. Comme dans les installations actuelles il faut tenir le plus grand compte de la présence des moteurs, le mot d'ordre doit être pour le constructeur : le moins de chute de potentiel possible. On ne devrait pas dépasser 4 à 5 p. 100 pour les courants d'éclairage, ce qui correspond encore à 15 ou 20 p. 100 pour les moteurs.

La seule objection qu'on puisse faire à des machines ainsi conditionnées réside dans le danger des courts circuits. Mais comme la pratique du courant continu nous a appris que les machines sont mieux protégées par de bons coupe-circuits ou des disjoncteurs automatiques que par un enroulement compound à réaction, nous pouvons aussi nous passer dans les alternateurs de la réaction due à la self-induction.

A. H.

Sur les réactions chimiques dans les accumulateurs au plomb, par K. Elbs et O. Schoenherr (1).

La théorie publiée par M. G. Darrieus (2) sur les réactions chimiques dont les accumulateurs au plomb sont le siège donne lieu aux observations suivantes des auteurs, qui ont fait un très grand nombre d'expériences. D'après Darrieus, il se forme pendant la charge, à l'électrode positive, de l'acide persulfurique qui transforme les oxydes et le sulfate de plomb en peroxyde; cette réaction terminée, l'acide persulfurique libre se décomposerait en acide sulfurique et oxygène et indiquerait ainsi la fin de la charge de l'électrode peroxydée. Cette théorie attribue donc à l'acide persulfurique un rôle prépondérant, en l'envisageant comme l'agent actif principal; ce serait à tort, d'après les expériences des auteurs, car aux faibles densités de courant employées dans les accumulateurs, il ne peut se former qu'une quantité à peine appréciable d'acide persulfurique, même avec un acide d'une concentration aussi inusitée que celle qu'emploie Darrieus (33° Baumé = 1,3 poids spéc.).

Un acide de ce degré de concentration a donné avec une anode de platine à une densité de courant de 2.800 ampères par m^2, 24 p. 100 de la quantité calculée d'acide persulfurique; mais si l'on diminue la densité de courant à 1.300 ampères par m^2, il ne se forme que des traces d'acide persulfurique; dans ces expériences, les électrodes étaient séparées par un diaphragme pour éviter les

(1) *Zeitschrift fur Elektrochemie*, 1er février 1895.
(2) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 1892.

pertes possibles par réduction à la cathode. Si l'on électrolyse dans un voltamètre ordinaire de l'acide sulfurique de poids spécifique égal à 1,15, comme l'acide employé habituellement dans les accumulateurs, on n'obtient pas trace d'acide persulfurique avec une densité de courant de 4.000 ampères par m^2; et même avec 10.000 ampères par m^2 on n'en obtient que de faibles quantités. Or en régime normal les densités de courant employées dans les accumulateurs sont bien inférieures aux valeurs précédentes. On peut charger les accumulateurs avec des densités de courant très petites; ainsi, la charge d'un élément de 80 ampères-heures avec une surface active des plaques de 20 décimètres carrés s'accomplit tout à fait normalement avec un courant d'un ampère, c'est-à-dire avec une densité de courant de 5 ampères par m^2. Ce fait montre déjà que l'acide persulfurique ne peut jouer aucun rôle.

On pourrait objecter que les expériences avec des anodes de platine ne sont pas probantes, parce qu'à la suite de l'action catalytique du platine, l'acide persulfurique se décompose en acide sulfurique et oxygène, tandis qu'avec une anode de plomb elle produirait la peroxydation du plomb. Cette objection est absolument controuvée par l'expérience. Car d'une part, si le platine exerçait une action catalytique notable sur l'acide persulfurique, on ne pourrait obtenir autour de l'anode plus de 400 gr. d'acide persulfurique par litre, ce qui, d'après les expériences des auteurs, est possible avec une anode de platine. D'autre part, l'acide persulfurique libre ne réagit pas sur le plomb ni sur le sulfate de plomb avec formation de peroxyde, quelle que soit d'ailleurs la concentration. Quand on plonge une lame de plomb dans de l'acide sulfurique contenant de l'acide persulfurique, la lame se recouvre bien plus rapidement de sulfate de plomb qu'en dehors de la présence de l'acide persulfurique, mais on ne remarque jamais de formation de peroxyde, même en prolongeant le contact pendant plusieurs jours.

Mais ce n'est pas tout. Une lame de plomb recouverte de peroxyde électrolytique perd dans l'acide persulfurique mélangé d'acide sulfurique cette couche d'oxyde qui se transforme peu à peu en sulfate avec dégagement d'oxygène. Les observations de Schoop sur le persulfate de potasse ne contredisent pas ce fait. Car il existe ce fait remarquable que les sels alcalins de l'acide persulfurique ont la propriété de transformer le plomb et ses sels en peroxyde. Mais dans les accumulateurs il ne s'agit que d'une solution d'acide persulfurique dans l'acide sulfurique.

La présence éventuelle d'acide persulfurique dans l'accumulateur chargé n'est pas niée par les auteurs; mais ce n'est qu'un produit secondaire incapable de produire les réactions que lui attribue Darrieus. D'après ces considérations, l'acide persulfurique n'a aucune signification pour les réactions sur lesquelles se base le fonctionnement des accumulateurs.

A. H.

Notes sur la téléphonie aux États-Unis, par G. de la Touanne [1].

RÉPARTITEURS

Aux commutateurs que nous venons de décrire sont joints, presque sans exception, des répartiteurs étudiés à peu près à la même époque et fort bien conçus. On sait tout l'avantage de l'appel au numéro et combien le service y gagne en rapidité, en sûreté: d'un autre côté, les abonnés déménagent, se transportent d'un quartier à un autre. Il y a donc là une difficulté, car si l'on veut bénéficier de l'appel au numéro, on ne doit pas changer le numéro des abonnés aussi souvent que ceux-ci changent de domicile et, par suite, de ligne. Ses correspondants, en effet, gardant toujours le même numéro, l'abonné, dans ses demandes, risque moins de se tromper et de provoquer des appels erronés qui ralentissent inutilement son service ; au bout de fort peu de temps, il n'a même plus l'idée d'appeler à l'aide du nom. De là l'intérêt

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 16 février 1895, p. 313.

qui s'attache aux appareils permettant d'opérer ces transferts d'une ligne extérieure à une autre, tout en conservant à l'abonné son même numéro, sa même ligne de commutateur, de là aussi le grand nombre de répartiteurs combinés dans ce but et expérimentés ([1]). Le modèle dont nous nous occupons en ce moment semble non seulement supérieur à ceux qui l'ont précédé, mais encore réellement bon en lui-même.

Il est essentiellement constitué par un bâti (figure 12) en fer plat et fer cornière dont la forme générale est un parallélipipède ; les deux grandes faces sont affectées l'une VPV' aux lignes venant de l'extérieur, l'autre HKH' aux lignes intérieures allant au commutateur : la partie médiane sert à supporter et aussi à classifier les fils raccordant les unes aux autres. Les lignes intérieures sont soudées à des lamelles en laiton (figure 13) disposées par bandes horizontales sur des planchettes isolantes HH' (figure 12 et 14), tandis que les lignes extérieures aboutissent, le long de montants métalliques verticaux VV', à des paratonnerres, ou pour parler exactement, à des protecteurs destinés à garantir les fils et appareils du bureau contre les coups de foudre ou les accidents résultant de contacts entre les lignes d'abonnés et les conducteurs pour éclairage, tramways électriques, etc.

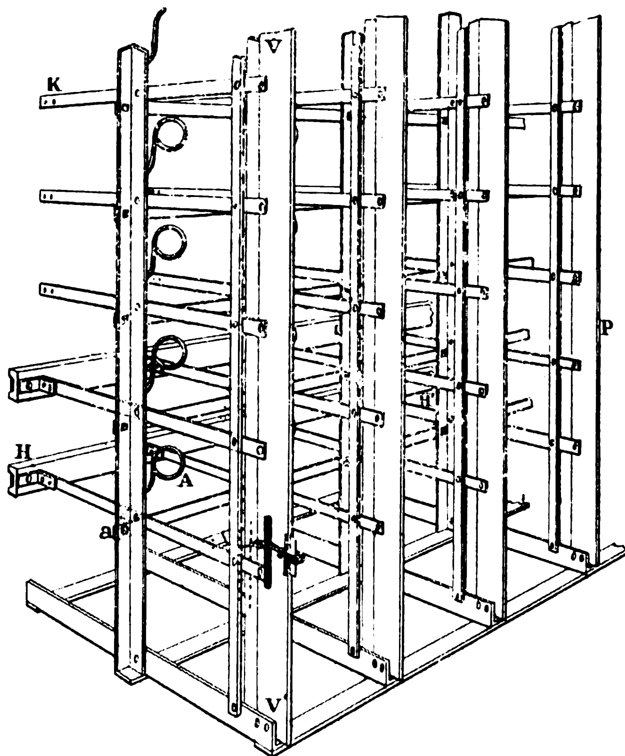


Fig. 12. — Bâti du répartisseur.

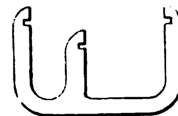


Fig. 13. — Lamelles de contact des lignes intérieures.

Fixés les uns au-dessus des autres sur les

([1]) Un exemple frappant, de l'utilité de l'appel au numéro s'est présenté pendant l'épidémie d'*influenza* de 1889-1890. Dans un réseau, toutes les téléphonistes se trouvèrent atteintes à la fois, pendant quelques jours. On fit venir des ouvriers d'équipe et, malgré leur absence de pratique, ceux-ci assurèrent le service. Grâce à l'*appel au numéro*, on put donc, en quelques heures, mettre au courant un personnel nouveau.

montants VV′ (fig. 12 et 15) et disposés par rapport à eux d'une façon presque rigoureusement symétrique, ces protecteurs comprennent (fig. 16) deux forts ressorts droits R_1, R_2 reliés aux fils de ligne L_1, L_2 et deux ressorts courbes F_1, F_2 reliés aux fils intérieurs B_1, B_2 du bureau allant au multiple. Entre R_1 et F_1, R_2 et F_2, la continuité du circuit est établie à l'aide d'une petite bobine de construction assez particulière ou thermo-bobine (fig. 16 et 17) destinée à fonctionner par échauffement pour protéger le poste contre les courants permanents. Le noyau en est composé par une goupille de cuivre G, vissée par un bout dans le fond d'un capuchon d'ébonite E et couverte sur une partie de la longueur par un manchon M, également en cuivre, entaillé vers le milieu; les deux pièces sont reliées l'une à l'autre et à une extrémité du fil de la bobine à l'aide d'une goutte de soudure très fusible, fixée à la goupille centrale à travers l'entaille du manchon; la figure 17, où un seul tour de fil a été représenté, montre cette attache des trois pièces ensemble; le fil fait en réalité une soixantaine de tours, puis aboutit à un disque de laiton embroché sur une saillie cylindrique prolongeant à l'extérieur le fond du capuchon d'ébonite; de la bobine au disque, le fil passe dans une fente longitudinale du capuchon et se trouve ainsi protégé. La fixation de la

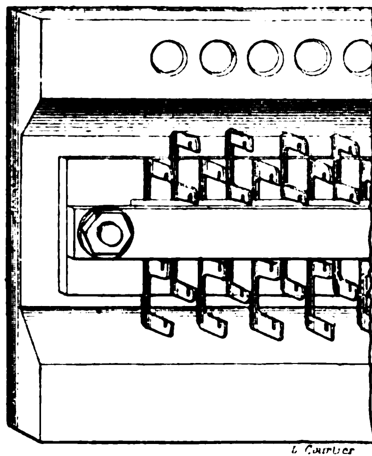


Fig. 14. — Montage des lamelles de contact des lignes intérieures sur les montants horizontaux du bâti.

bobine entre les deux ressorts F_1 et R_1 (pour ne considérer que cette moitié du protecteur) est on ne peut plus simple; il suffit d'engager la saillie en ébonite du capuchon entre les dents d'une sorte de fourche terminant le ressort F_1, après avoir introduit l'extrémité libre de la goupille G_1, dans une petite fenêtre pratiquée dans le ressort R_1, et dont la largeur est strictement suffisante pour qu'elle y puisse passer librement; le manchon M_1 vient buter contre les bords de la fenêtre. Dès lors, le circuit L, se continue par le ressort R_1, le manchon M_1, le fil de la bobine, D_1, F_1 et B_1. On doit noter que, dans cette position normale, la goupille, ressortant de l'autre côté de R_1, appuie sur un ressort supplémentaire r_1, très faible, appliqué à la face interne de R_1. Dans ces conditions, si un courant suffisant traverse le fil L_1 et par suite la bobine, pendant quelques instants — l'appareil est fait pour fonctionner au bout de 30 secondes au

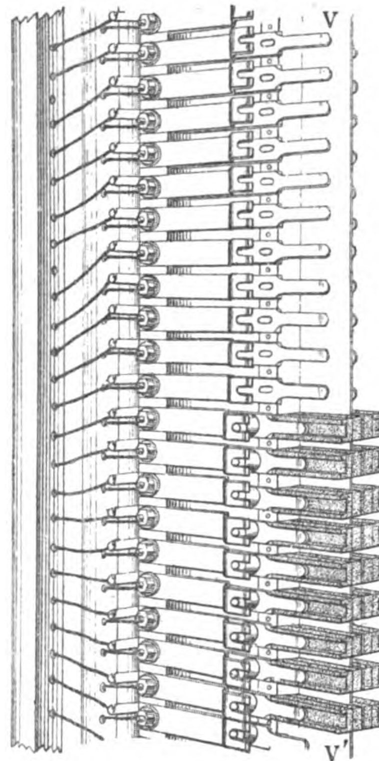


Fig. 15. — Montage des lignes extérieures munies de leurs protecteurs sur les montants verticaux du bâti.

plus avec un courant $0^{a},28$ — le fil de la bobine, assez fin ($0^{mm},09$), s'échauffe et fait fondre la soudure : le manchon n'étant plus retenu sur la goupille, celle-ci obéit à l'action du ressort F, qui la presse, glisse dans le manchon, traverse la fenêtre où elle est engagée et par conséquent, poussant sans obstacle r_1 jusqu'au montant métallique qui est à la terre, plus exactement jusqu'à une lame de maillechort fixée le long du montant, met à la terre r_1, R_1 et le fil de ligne. Les courants de quelque intensité et tant soit peu prolongés venant de

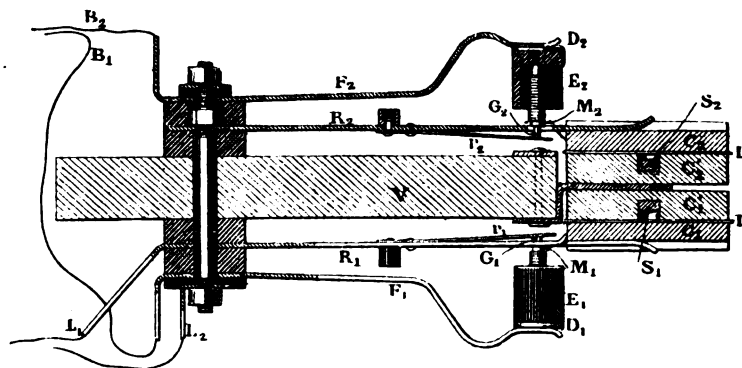


Fig. 16. — Détail des protecteurs.

la ligne ne peuvent donc parvenir jusqu'aux appareils. Afin que les appareils à protéger ne soient exposés à aucun danger, lorsqu'on enlève la bobine à échauffement, pour inspection, réparation, etc., une petite cale d'ébonite

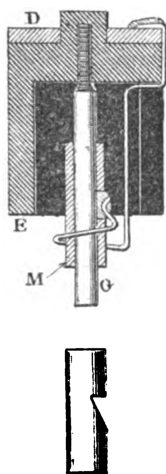


Fig. 17. — Détail de la thermo-bobine.

est montée sur le dos des ressorts R_1 et R_2, de manière que F_1 et F_2 ne viennent pas en contact avec R_1 et R_2 et qu'ainsi les fils de ligne restent isolés des appareils quand la thermobobine n'est pas en place. Nous ferons observer incidemment, et la figure le montre d'ailleurs, que les quatre ressorts F_1, R_1, R_2, F_2 sont maintenus sur le montant par un seul et même boulon, isolé de F_1, S_1 et F_2 comme ces ressorts sont isolés entre eux, mais communiquent avec R_2 et une petite équerre à laquelle est soudé le second fil de ligne L_2.

Le dispositif précédent ne garantirait pas le poste contre les étincelles provenant de coups de foudre, d'extra-courants résultant de mélanges, etc. Aussi le protecteur a-t-il été, sur

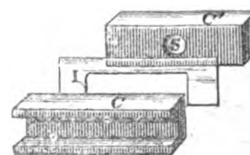


Fig. 18. — Parafoudre à lame d'air.

les deux fils de ligne, muni d'organes additionnels formant paratonnerres. On sait les excellents résultats obtenus un peu de tous côtés, pour la protection des appareils, avec les paratonnerres à lame d'air : ce sont actuellement les plus sensibles qu'on possède et les plus avantageux lorsqu'il s'agit surtout de préserver des appareils. Les paratonnerres employés ici appartiennent à cette catégorie. Deux prismes de charbon CC' (fig. 16 et 18)

sont placés face à face, séparés par une lame de mica I échancrée sur un côté ; l'un prend contact avec une plaque de maillechort fixée au montant, c'est-à-dire en communication avec la terre ; l'autre présente une rainure sur le dessus et est pressé vers le premier par une languette terminant chaque ressort R_1, R_2, et engagée dans la rainure. L'épaisseur du mica est choisie de façon qu'une étincelle éclate entre les deux plaques pour une différence instantanée de potentiel de 350 volts. L'échancrure de la lame de mica est naturellement tournée vers le bas, de façon à laisser tomber les poussières qui viendraient à se produire entre les deux prismes de charbon. Enfin une dernière précaution a été prise pour le cas où une première étincelle serait suivie de la formation d'un arc : dans le prisme en contact avec la plaque de terre et à l'opposé de celle-ci est pratiquée une petite cavité au fond de laquelle on a coulé de l'alliage très fusible. Si un arc se produit, le charbon s'échauffe légèrement, l'alliage fond et, coulant jusqu'à l'autre prisme, met en court circuit les deux charbons; la faible distance de ceux-ci empêche l'écoulement de l'alliage entre les deux plaques. Les dispositions adoptées rendent, on le voit, extrêmement facile et rapide le remplacement des bobines ou des paratonnerres, s'ils viennent à être mis hors de service ([1]).

Quant au raccord entre les fils extérieurs et les fils du bureau, il se fait à l'aide de fils isolés soudés d'une part aux queues des ressorts de protecteurs, de l'autre à l'une des branches libres des lamelles de laiton. Ces fils de raccord sont amenés (fig. 12) du montant vertical à l'anneau A disposé, à peu près dans le plan du montant, légèrement au-dessus de la réglette horizontale HH' à laquelle ils doivent aboutir et de là redescendent, en nappe doucement inclinée et étalée sur la longueur de HH', vers cette réglette elle-même.

La dernière branche libre des lamelles de laiton permet d'amener les conducteurs, en dérivation, sur un *répartiteur secondaire* ou *répartiteur d'appels*. La raison d'être des répartiteurs de lignes est la nécessité de conserver aux abonnés leur numéro, quels que soient leurs changements de domicile, et ceci concerne exclusivement le numérotage des jacks généraux sur lesquels l'opérateur doit prendre la communication avec un abonné demandé. Mais les jacks individuels sur lesquels il reçoit la demande peuvent porter un numéro quelconque pourvu que l'annonciateur individuel porte le même, l'opérateur connaissant toujours, par l'annonciateur, l'abonné qui vient d'appeler. Les jacks et les annonciateurs individuels ne sont donc pas affectés nécessairement à la section où les plaçerait l'ordre naturel des nombres d'après le numérotage, sur les jacks généraux, de la ligne à laquelle ils correspondent : et comme il y a lieu, dans l'immense majorité des cas, d'égaliser, autant que possible, le service entre les diverses sections ou même les divers opérateurs, on se réserve la faculté de transporter d'une section devenue trop chargée, à une autre section recevant relativement peu d'appels, les jack et annonciateur individuels d'un abonné émettant de fréquentes demandes ([1]). Les répartiteurs d'appels répondent à cette préoccupation, étant composés, comme ceux de lignes, de deux séries d'attaches réunies entre

([1]) Bien construits et judicieusement employés, les paratonnerres à lame d'air ne donnent que fort peu de mises accidentelles à la terre ; lors même que cet inconvénient se produirait un peu fréquemment, comme on cherche surtout, dans les bureaux téléphoniques, à protéger les appareils, il ne serait que secondaire ; nous croyons cependant intéressant de mentionner que, dans un poste muni de 10.000 des paratonnerres ci-dessus, on ne compte qu'une mise à la terre en moyenne par jour.

([1]) Les économies réalisées à l'aide d'une répartition correcte des appels sont parfois considérables. Nous pourrions citer un bureau où, après étude du nombre et de la répartition des appels, il a été reconnu possible de faire, par rapport aux prévisions premières (il s'agissait de remanier complètement le bureau), une réduction de 30 p. 100 sur le coût d'établissement du commutateur, et une économie de 30 à 33 p. 100 sur les frais *annuels* de personnel manipulant. La longueur du multiple a pu, d'ailleurs, être réduite d'un tiers. On voit l'importance que présentent les statistiques d'appels.

elles par des fils de secours permutables suivant les besoins, et affectées aux deux genres de conducteurs à relier ; l'une reçoit les fils allant aux jacks et aux annonciateurs individuels, l'autre les fils venant des lignes. Ce sont ces derniers qui partent, sur la troisième branche des lamelles en laiton, vers le répartiteur d'appels : cette branche représente, par exemple, la dérivation l_1 (fig. 3) vers le jack et l'annonciateur individuels, du fil de ligne L_1 aboutissant à la lamelle. Les répartiteurs d'appel généralement annexés aux répartiteurs de lignes ci-dessus décrits sont construits d'une manière tout à fait analogue : les montants verticaux antérieurs, non munis cette fois de protecteurs, sont attribués aux dérivations de ligne dont nous venons de parler ; les réglettes horizontales postérieures sont raccordées, lors du montage, aux jacks et annonciateurs individuels : on peut ainsi, à l'aide de fils de secours, renvoyer une ligne, pour les appels, sur un jack et un annonciateur individuels quelconques. Cette disposition, offrant de grandes facilités de maniement n'est possible que si l'on dispose d'une certaine place, car le répartiteur d'appels constitué de la sorte est un peu encombrant. De plus il exige entre le point de dérivation (l_1) et le jack individuel, une longueur supplémentaire de fil qui peut n'être pas négligeable. Ceci est sans grande influence lorsque les deux répartiteurs sont établis dans de bonnes conditions, c'est-à-dire à proximité du multiple ; mais lorsqu'on est contraint de les en éloigner, ces fils, supplémentaires, soit par le prix qu'ils coûtent, soit par la capacité qu'ils ajoutent à la ligne, introduisent dans l'installation un élément peu avantageux. Il semble, en pareil cas, préférable de s'en tenir au répartiteur d'appels précédemment en usage, formé d'un panneau vertical, disposé en arrière du multiple, au bas et dans toute la longueur du meuble et muni de deux séries de languettes, l'une inférieure, l'autre supérieure, traversant le panneau. Les dérivations des lignes sont amenées à l'arrière du panneau sur les languettes supérieures, les fils de jacks et annonciateurs individuels à l'arrière des languettes inférieures : les fils de secours sont menés des unes aux autres en avant du panneau.

(A suivre.)

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Etude des charges résiduelles des condensateurs et de l'influence de la température sur ces charges, par Frederick Bedell et Carl Kinsley (1).

Dans le but d'étudier les effets de la pénétration des charges dans les diélectriques, les auteurs ont entrepris plusieurs séries d'expériences distinctes qu'ils exposent successivement.

1° *Effet d'une charge négative antérieure sur les décharges résiduelles successives.* — Dans cette série d'expériences le condensateur était soumis, antérieurement à la charge finale, à une charge de sens opposé. Dans chaque cas la charge finale était de même sens (arbitrairement appelé positif) et de même durée (30 secondes). La durée de la charge antérieure de sens opposé variait d'une expérience à l'autre. Quel que soit le signe de la charge, la différence de potentiel des armatures du condensateur chargé était d'environ 114 volts. Après la charge finale de 30 secondes, le condensateur était maintenu isolé pendant 5 secondes, puis mis en court circuit pendant 15 secondes. Après cette décharge en court circuit, il était de nouveau isolé pendant un temps variable d'une expérience à l'autre, temps pendant lequel les charges absorbées revenaient à la surface. Le condensateur était alors déchargé à travers un galvanomètre, et l'impulsion de l'aiguille de cet instrument était prise pour mesure comparative des décharges.

(1) *The Physical Review*, t. II, p. 170-197 ; novembre-décembre 1894.

On observait plusieurs décharges résiduelles successives, le condensateur étant isolé pendant les intervalles de temps égaux qui séparaient ces décharges.

De nombreuses courbes représentent les résultats obtenus avec des durées de la charge

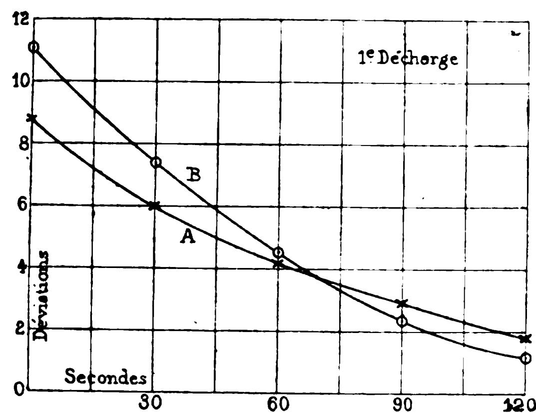


Fig. 1.

négative de 0, 30, 60, 90 et 120 secondes et pour quatre décharges résiduelles successives se succédant à des intervalles de 10, 20, 30, 45, 60 et 90 secondes. Les figures 1 à 4 en reproduisent quelques-unes qui montrent l'influence de la durée de la charge négative initiale. Les déviations de l'aiguille du galvanomètre sont portées en ordonnées, positivement ou néga-

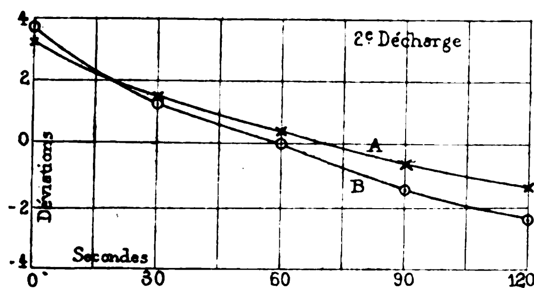


Fig. 2.

tivement suivant le sens de cette déviation; les durées de la charge négative sont portées en abscisses. Les courbes A se rapportent à des décharges résiduelles séparées les unes des autres par un intervalle de 45 secondes; les courbes B à des décharges se succédant à 90 secondes d'intervalle. On voit que l'intensité des décharges résiduelles décroît quand la durée de la charge négative augmente, et que cette diminution est plus marquée dans le cas où les décharges se succèdent à 90 secondes d'intervalle que dans celui où elles se succèdent à 45 secondes. L'absorption de la charge négative initiale augmente donc avec la durée

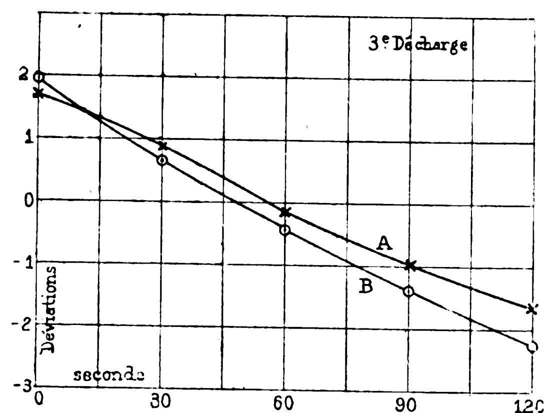


Fig. 3.

de cette charge, et la régularité des courbes semble indiquer que cette absorption est liée au temps par une loi bien définie.

2° *Effets de l'absorption sur les courbes de décharge.* — Pour obtenir ces courbes, les armatures du condensateur étaient réunies aux bornes d'un voltmètre multicellulaire. La perte

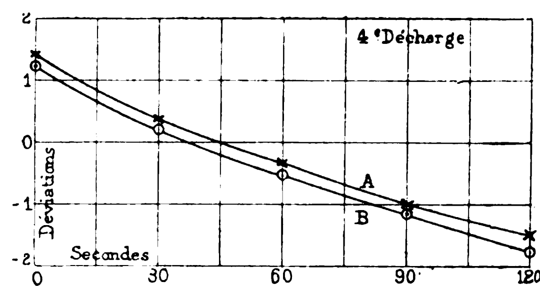


Fig. 4.

par le voltmètre étant négligeable, la décharge s'effectuait à travers le diélectrique du condensateur. On portait en ordonnées les différences de potentiel observées et en abscisses les temps correspondants.

Dans une des expériences on employait un condensateur en usage depuis quelque temps avec des charges toujours de même sens. La

charge finale, également de même sens, était obtenue au moyen d'une différence de potentiel de 450 volts ; après cinq heures de décharge la différence de potentiel était de 123 volts environ. Une seconde expérience fut faite avec le même condensateur abandonné en court circuit pendant quatre jours, puis chargé dans un sens opposé aux charges qu'il avait reçues jusqu'alors, et enfin chargé avec une différence de potentiel de 500 volts dans un sens opposé à cette dernière charge ; au bout de 4 heures et demie la différence de potentiel était tombée à 100 volts. Les deux courbes de décharge étaient donc différentes.

Pour mieux accuser cette différence, les auteurs ont déduit de ces courbes la résistance d'isolement du condensateur dans les deux expériences et ont comparé entre elles les valeurs obtenues pour cette quantité. Si le passage de l'électricité à travers le diélectrique du condensateur suivait la loi de la propagation de la chaleur dans un mur, on aurait pour la différence de potentiel à l'instant t,

$$V_t = V_0 C - \frac{t}{RC},$$

V_0 étant la différence initiale, C la capacité et R la résistance d'isolement. On en déduit

$$R = \frac{t}{C \log \frac{V_0}{V_t}},$$

et si R est variable, on a pour sa valeur entre les instants t_1 et t_2,

$$R' = \frac{t_1 - t_2}{C \log \frac{V_2}{V_1}}.$$

Ce sont les valeurs de R et de R' obtenues en remplaçant dans ces formules V_0, V_t, V_1 et V_2 par les valeurs données par l'expérience que les auteurs considèrent. En portant ces valeurs en ordonnées et les temps t ou $\frac{t_1 + t_2}{2}$ en abscisses on obtient deux courbes pour chaque expérience. Avec le condensateur chargé préalablement dans le même sens que la charge finale, R croît régulièrement de 2.000 à 10.000 mégohms environ ; R' commence par croître plus rapidement et présente un maximum de plus de 16.000 mégohms presqu'à la fin de l'expérience, c'est-à-dire après 4 heures et demie de décharge. Pour l'expérience où le condensateur était préalablement chargé en sens inverse de la charge finale, R croît régulièrement de 2.000 à 6.000 mégohms ; R' croît d'abord plus vite, mais il présente une valeur maxima de 9.000 mégohms environ après 3 heures de décharge et à la fin de l'expérience, c'est-à-dire après 5 heures de décharge, il prend la même valeur que R, 6.000 mégohms. La comparaison des courbes R ou R' déduites des deux expériences indique donc nettement une influence de la pénétration des charges sur la loi de la décharge.

3. *Influence de la différence de potentiel initiale sur la résistance moyenne.* — Pour reconnaître si cette influence existe, des expériences furent faites en chargeant les condensateurs successivement avec des potentiels de 150, 200, 250, 300, 350, 400 et 450 volts. Pour chacune de ces différences initiales on construisait, comme il a été dit plus haut, la courbe de décharge à travers le diélectrique et, des courbes obtenues, on déduisait les valeurs de R et de R' après 60, 160 et 260 minutes de décharge, puis on prenait la moyenne de ces trois valeurs. On a constaté que ces moyennes étaient pour R, d'une part, et pour R', d'autre part, sensiblement les mêmes quelle que soit la différence de potentiel initiale. Les faibles différences trouvées pouvant s'expliquer par des variations d'isolement résultant de changements atmosphériques, les auteurs considèrent l'influence cherchée comme n'existant pas. Ils en concluent que les variations de R et R' trouvées dans les expériences du paragraphe précédent sont dues uniquement à la pénétration des charges.

4. *Effet de la température sur la résistance de l'huile.* — Les résultats précédents montrent les effets de l'absorption dans un diélectrique solide ; ceux qui suivent montrent que ces effets dépendent de la température et

qu'à une température suffisamment élevée les phénomènes d'absorption et les charges résiduelles disparaissent.

Des expériences préliminaires furent faites sur diverses huiles commerciales à différentes températures. Deux plaques de 25,25 cm. de long, de 17,5 cm. de large et écartées de 1,47 cm. de large au moyen de cales d'ébonite étaient plongées dans l'huile. On déterminait la résistance d'isolement de l'huile en déchargeant à travers cette huile un condensateur de capacité connue dont les armatures étaient reliées aux plaques. La différence de potentiel des armatures était mesurée avec un voltmètre multicellulaire et la résistance était calculée au moyen de la formule (1).

Les différentes huiles ayant donné des résultats semblables, les auteurs ne donnent que ceux relatifs à l'une d'elles. Des tableaux et des courbes qui les expriment, il résulte que pour les températures de 18°,5 et 32° la résistance augmente un peu pendant la décharge, mais qu'aux températures de 40°, 50°, 60°, 70° et 80° la résistance demeure constante pendant toute la durée de la décharge qui, alors, suit la loi exponentielle. En outre cette résistance diminue quand la température s'élève.

5. *Effet de la température sur les décharges résiduelles.* — Les décharges résiduelles étaient produites à des températures différentes par un procédé décrit dans un mémoire antérieur ([1]). Si l'on porte en ordonnées les déviations du galvanomètre pour chaque décharge et en abscisses des longueurs proportionnelles aux intervalles de temps qui séparent les décharges on obtient des courbes de formes différentes suivant la température. Les courbes relatives à la température de 24 degrés montrent que l'intensité de chaque décharge augmente avec la durée de l'intervalle séparant les décharges successives, tandis que celles relatives à la température de 40 degrés montrent que cette intensité est sensiblement la même quelle que soit la durée de l'intervalle. Ceci indique qu'à cette dernière température l'absorption est très faible et les auteurs en concluent que l'absorption disparaît à une température suffisante.

6. *Effet de la température sur les courbes de décharge et la résistance d'isolement.* — Les courbes de décharge obtenues, comme on l'a déjà dit, à diverses températures montrent que la décharge devient de plus en plus rapide quand la température augmente. Les valeurs de la résistance déduites de ces courbes indiquent que l'augmentation de cette résistance avec la durée de la décharge devient de moins en moins accentuée quand la température s'élève. En outre, l'élévation de la température est accompagnée d'une diminution de la résistance d'isolement.

7. *Conclusions.* — « L'action d'un condensateur dépend, à un degré élevé, de son histoire antérieure, à tel point que, dans certaines circonstances, les charges antérieures peuvent avoir une plus grande importance que la dernière dans cette action. Dans ce cas, les absorptions antérieures, après avoir neutralisé l'absorption due à la charge finale, peuvent donner naissance à des charges résiduelles qui, avec le temps, croissent jusqu'à leurs valeurs antérieures.

« L'absorption donne lieu à des charges résiduelles et empêche la décharge d'un condensateur à travers son propre diélectrique de suivre la loi exponentielle. L'accroissement de la résistance du condensateur pendant sa décharge se combine avec cet effet de l'absorption. Les charges antérieures modifient ces résultats, les faisant croître ou décroître suivant que ces charges étaient de même sens ou de sens opposés.

« La résistance des huiles pures est constante à une même température et décroît rapidement quand la température s'élève. Il n'y a, par suite, ni absorption ni effets résiduels dans ces huiles.

« Dans les diélectriques solides les effets de

([1]) BEDELL, BOLLANTYNE et WILLIAMSON. Condensateurs à courant alternatif et hystérésis diélectrique. *Physical Review*, t. I, fasc. 2.

l'absorption diminuent quand la température s'élève, ainsi que le montrent les charges résiduelles et les variations de la résistance d'isolement ».

J. B.

Influence des basses températures sur la puissance d'attraction des aimants artificiels permanents, par M. Raoul Pictet (1).

« ... Les expériences ont été faites sur un aimant pesant 493^{gr},5 et formé de trois éléments en fer à cheval. Après l'aimantation, on lui avait fait porter pendant deux ans son armature chargée : il était arrivé à porter 4.275 grammes. Il avait ensuite été abandonné pendant onze ans sans armature, et ne portait plus que 3.226^{gr},5.

« On a noyé l'aimant dans un puits frigorifique de petite dimension, rempli d'alcool pur; il était placé verticalement, les branches en l'air et calé avec des pièces de bois.

« L'alcool qui baignait l'aimant arrivait à toucher la surface d'une glace de 3 mm. d'épaisseur, placée horizontalement sur ses branches; deux thermomètres indiquaient la température de l'alcool maintenue constante par un agitateur. L'armature de l'aimant, en contact avec la face supérieure de la glace, était fixée au plateau d'une balance sensible. Elle ne pouvait se soulever que de 1/5 de millimètre : elle était retenue par deux pointes, fermant un courant électrique qui passait dans un galvanomètre.

« Le tableau ci-dessous donne les moyennes des résultats obtenus par quatre séries d'observations dans lesquelles les écarts ont toujours été inférieurs à 1/50 de gramme.

TEMPÉRATURE de l'aimant.	FORCE d'attraction magnétique.	TEMPÉRATURE de l'aimant.	FORCE d'attraction magnétique.
+ 30°	57gr31	— 40°	66gr70
+ 25	57,87	— 45	67,41
+ 20	58,48	— 50	68,15
+ 15	59.10	— 55	68,91
+ 10	59,81	— 60	69,64
+ 5	60,36	— 65	70,30
0	61.04	— 70	71,12
— 5	61,80	— 75	71,98
— 10	62,42	— 80	72,70
— 15	63,12	— 85	73,41
— 20	63,93	— 90	74,18
— 25	64.60	— 95	74,95
— 30	65,35	— 100	75,80
— 35	66,09	— 105	76,64

Variation du potentiel et de l'intensité du courant dans un circuit ouvert se mouvant dans un champ magnétique uniforme (2e partie), par Luigi Lombardi (2).

Les expressions obtenues dans la première partie de ce Mémoire (3) se simplifient beaucoup quand on suppose la longueur l du fil, sa capacité c, sa résistance w par unité de longueur et le nombre de tours n assez petits pour qu'on puisse ne prendre que les premiers termes des développements des exponentielles et des lignes trigonométriques en λl. En négligeant les puissances de cette dernière quantité supérieures à la sixième, on a pour le dénominateur des constantes C_1, C_2, S_1, S_2,

$$D = 2 + 4\lambda^2 l^2 + \frac{4}{3}\lambda^4 l^4 + \frac{8}{45}\lambda^6 l^6 - 2 + 4\lambda^2 l^2 - \frac{4}{3}\lambda^4 l^4 + \frac{8}{45}\lambda^6 l^6 = 8\lambda^2 l^2 + \frac{16}{45}\lambda^6 l^6.$$

Le numérateur de C_1, calculé avec la même approximation, est

$$N = -4\lambda^2 l^2 - 4\lambda^3 l^3 - \frac{8}{45}\lambda^6 l^6,$$

et l'on est conduit à

$$C_1 = \frac{2\pi n r H}{\lambda}\ \frac{-1-\lambda l}{4}.$$

Les expressions de C_2, de S_1 et de S_2 sont aussi simples, et si l'on calcule la somme des carrés $C_1^2 + S_1^2$, on trouve

$$C_1^2 + S_1^2 = \frac{(\pi n r H)^2}{2\lambda}\left(1 + \lambda l + \frac{\lambda^2 l^2}{2} + \frac{\lambda^3 l^3}{6}\right).$$

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 263, séance du 4 février 1895.

(2) *Il Nuovo Cimento* (3), t. XXXVI, p. 275-287, décembre 1894.

(3) *L'Éclairage électrique*, 16 février 1895.

Or l'expression entre parenthèses est le développement de $e^{\lambda l}$ réduit à ses premiers termes; par conséquent,

$$C_1^2 + S_1^2 = \frac{(\pi n r H)^2}{2\lambda^2} e^{\lambda l}.$$

De même on aura

$$C_2^2 + S_2^2 = \frac{(\pi n r H)^2}{2\lambda^2} e^{-\lambda l},$$

$$C_1C_2 + S_1S_2 = -\frac{(\pi n r H)^2}{2\lambda^2} \cos \lambda l,$$

$$S_1C_2 - S_2C_1 = -\frac{(\pi n r H)^2}{2\lambda^2} \sin \lambda l,$$

et en portant ces valeurs dans l'expression P de l'amplitude maximum de la force électromotrice p, on obtiendra

$$P = \frac{2\pi n r H}{2\sqrt{2}\lambda} \sqrt{e^{\lambda(l-2x)} + e^{-\lambda(l-2x)} - 2\cos \lambda (l - 2x)},$$

ou approximativement, en négligeant les termes du 4e degré et des degrés plus élevés dans les développements des termes du radical

$$P = 2\pi n r H \left(\frac{l}{2} - x\right).$$

Cette expression fort simple montre que la valeur maximum du potentiel en un point du fil varie proportionnellement à la distance de ce point au milieu du fil.

Pour déterminer la valeur du potentiel en chaque point et à chaque instant, il faut encore calculer l'expression de l'angle φ qui entre dans la formule (I_b). En faisant les mêmes approximations que précédemment, l'auteur trouve

$$\varphi = -\text{arc tang} \frac{\lambda^2 l^2}{6}\left(1 + 2\frac{x}{l} - 2\frac{x^2}{l^2}\right)$$

et en conclut

$$p = 2\pi n r H \left(\frac{l}{2} - x\right) \sin \left\{ 2\pi n t - \text{arc tang} \frac{\lambda^2 l^2}{6}\left(1 + 2\frac{x}{l} - 2\frac{x^2}{l^2}\right) \right\} \qquad (I_c)$$

Cette formule montre ce fait remarquable qu'en deux points également éloignés des extrémités du conducteur, le potentiel est le même au signe près, car si l'on fait $x = l - x$ dans cette formule, la valeur de p ne fait que changer de signe.

Pour avoir les potentiels aux extrémités mêmes du fil, qui sont les points les plus intéressants, il suffit de faire successivement $x = 0$ et $x = l$. En appelant P_0 et P_1 ces potentiels, on a pour leur différence,

$$P_0 - P_1 = 2\pi n r l H \sin \left(2\pi n t - \text{arc tang} \frac{\lambda^2 l^2}{6}\right).$$

La différence de phase de cette expression ne pourrait devenir nulle que si λl était nul. Comme on a

$$\lambda l = l\sqrt{\pi n c w} = \sqrt{\pi n \, CW},$$

où W est la résistance et C la capacité du conducteur, cette condition ne peut jamais être réalisée. Toutefois, puisque l'on a supposé que la longueur du conducteur considéré est petite, la valeur de λl ne peut être bien grande, et l'on peut confondre l'arc avec la tangente; par suite, on a approximativement

$$P_0 - P_1 = 2\pi n r l H \sin \left(2\pi n t - \frac{\lambda^2 l^2}{6}\right)$$

ou encore, en confondant $\cos \frac{\lambda^2 l^2}{6}$ avec l'unité et $\sin \frac{\lambda^2 l^2}{6}$ avec l'arc

$$P_0 - P_1 = 2\pi n r l H \sin 2\pi n t - 2\pi n r l H \frac{\lambda^2 l^2}{6} \cos 2\pi n t.$$

L'auteur fait remarquer que, la force électromotrice par unité de longueur ayant pour expression

$$K = \pi n r H \sin 2\pi n t,$$

le second terme de la dernière expression de de $P_1 - P_0$ représente l'erreur que l'on commet lorsqu'on confond la force électromotrice avec la différence de potentiel. On voit que cette erreur est maximum quand le plan passant par le fil conducteur et l'axe est perpendiculaire au champ magnétique, c'est-à-dire quand la force électromotrice est nulle. Cette erreur maximum a pour valeur $2\pi^2 n^2 r l H \frac{CW}{6}$; elle est donc proportionnelle à la quantité CW caractéristique du conducteur et à la fréquence. On peut donc dire que l'effet combiné de la résistance et de la capacité d'un conducteur sur la

différence de potentiel entre ses points extrêmes est un retard de phase proportionnel au produit CW, et l'on peut écrire

$$P_0 - P_1 = 2\pi n r l H \sin 2\pi n \left(t - \frac{CW}{12}\right),$$

et par suite

$$p = 2\pi n r l H \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l}\right) \sin \left\{ 2\pi n t - \frac{\pi n CW}{6}\left(1 + \frac{2x}{l} - \frac{2x^2}{l^2}\right)\right\}. \quad (I_d)$$

L'auteur passe ensuite à la simplification de l'expression de i trouvée dans la première partie de son Mémoire. Il obtient, à l'aide des mêmes approximations,

$$I = 2\pi n r l \ H \pi n C \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right),$$

$$\psi = 90^\circ - \text{arc tang} \frac{\lambda^2 l^2}{6}\left(1 + \frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right),$$

et, par conséquent,

$$i = 2\pi n r l H \pi n C \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right) \sin \left\{ 2\pi n t + 90^\circ - \text{arc tang} \frac{\lambda^2 l^2}{6}\left(1 + \frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right)\right\} \quad (II_c)$$

ou encore

$$i = 2\pi n r l H \pi n C \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right) \sin \left\{ 2\pi n t + 90^\circ - \frac{\pi n CW}{6}\left(1 + \frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right)\right\} \quad (II_d)$$

La comparaison des formules (I_d) et (II_d) montre immédiatement que la différence de phase entre le potentiel et le courant en un point quelconque est

$$90^\circ + \frac{\pi n CW}{6}\left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right),$$

c'est-à-dire toujours plus grande que 90°, sauf pour $x = o$ et $x = l$; elle est maximum au milieu du conducteur, et a alors pour valeur

$$90^\circ + \frac{1}{4}\frac{\pi n CW}{6}.$$

En résumé, on voit que l'auteur est parvenu, par des approximations bien conduites, à simplifier et à discuter les expressions de p et de i obtenues dans la première partie de son Mémoire.

J. B.

CORRESPONDANCE

Monsieur le directeur,

Le numéro de l'*Éclairage électrique* du 26 janvier commence la reproduction *in extenso* d'une série d'articles parus dernièrement dans la *Revue du Cercle militaire*, et concernant l'emploi des projecteurs à la guerre.

Cet article renferme un certain nombre d'erreurs que nous croyons devoir rectifier.

Sans vouloir éterniser une discussion technique qui semble perdre de jour en jour son importance, en présence des résultats d'expériences faites contradictoirement, — expériences plus décisives, croyons-nous, que tous les calculs et toutes les considérations théoriques, quelque ingénieuses qu'elles puissent être, — nous croyons devoir seulement relever dans l'article la phrase ci-dessous :

« Nous nous sommes peu occupés des modèles de miroirs paraboliques français qui ne prétendent à aucune supériorité sur le matériel similaire allemand, et que les dernières expériences ont fait éliminer complètement. »

Pour répondre à cette assertion, il nous suffira de donner à vos lecteurs les renseignements suivants qui sont de nature, croyons-nous, à les intéresser.

A la fin de l'année 1892, le Ministre de la marine prescrivait à l'escadre de la Méditerranée de faire avec l'aide des ingénieurs de la maison Sautter-Harlé et Cie, constructeurs du miroir Mangin et de la maison Bréguet, constructeur du miroir parabolique, une série d'expériences comparatives sur les appareils des deux systèmes.

Les essais furent exécutés les 9, 10, 12, 16, 19 et 20 décembre par une commission composée de :

M. le capitaine de vaisseau Boutet, commandant du *Hoche* ;

M. le capitaine de frégate Chasseriaux, commandant du *Wattignies;*

M. le lieutenant de vaisseau Moreau ;

M. l'ingénieur de la marine Lhomme.

Ils ont été de deux sortes :

Essais sur points fixes repérés à l'avance ;

Essais sur but mobile s'éloignant avec une vitesse constante dans une direction donnée.

Les essais sur points fixes n'ont pas permis d'assigner une supériorité à un système par rapport à l'autre, mais il n'en a pas été de même dans les essais sur but mobile.

Un torpilleur était détaché dans une direction donnée avec une vitesse déterminée ; on le suivait alternativement avec un projecteur, puis avec l'autre, jusqu'à ce qu'il ne pût plus être aperçu, et on notait le temps de chaque expérience.

On a pu ainsi suivre le torpilleur, le 20 décembre, jour des expériences définitives où toutes les conditions avaient été scrupuleusement égalisées pendant :

21 minutes avec le projecteur Mangin (4.725 mètres).

25 minutes avec le projecteur parabolique (5.625 mètres).

La commission, déjà entièrement édifiée par la série des expériences des jours précédents, conclut à la supériorité du projecteur parabolique ou tout au moins à l'égalité de valeur des deux systèmes. Elle demanda l'acquisition d'un certain nombre de projecteurs paraboliques pour une expérience de durée.

Ratifiant cette décision, le Ministre de la marine fit à la maison Bréguet la commande de seize de ces appareils pendant le courant de 1893. A la suite des rapports favorables reçus à la fin de 1894, c'est-à-dire après une année d'expérience, le Ministère de la marine a admis définitivement les projecteurs paraboliques sur les navires de guerre français au même titre que les projecteurs Mangin, et treize de ces appareils viennent d'être commandés pour la *Foudre,* le *Casabianca* et le *Cécile.*

Il y a loin, comme vous le voyez, de cette décision à l'élimination complète qn'indique votre collaborateur.

Parallèlement aux expériences exécutées par la marine, et bien que les bureaux du Ministère de la guerre n'aient pas semblé s'inquiéter du mouvement qui s'était produit à l'étranger en faveur des miroirs paraboliques, les services techniques annexés travaillaient la question.

Dès le mois d'août 1893, le lieutenant-colonel Deport, directeur de l'atelier de Puteaux, obtenait du gouverneur de Paris l'autorisation de faire avec ses propres moyens une expérience comparative.

Cette expérience avait lieu dans deux séances successives, tout d'abord sur les berges de la Seine, à côté de l'atelier, puis au mont Valérien.

Bien que nécessairement incomplète, elle donnait cependant des résultats assez concluants, pour que cet officier si éminent demandât l'autorisation, au Ministère de la guerre, de construire un appareil photo-électrique locomobile basé sur l'emploi d'un projecteur parabolique de 90 cm.

C'est cet appareil qui, terminé quelques jours seulement avant les dernières manœuvres de forteresse, a fonctionné devant le fort de Vaujours ; il a permis de recueillir une série de renseignements du plus haut intérêt sur la voie à suivre, pour perfectionner le matériel en usage dans l'armée française, et a déterminé la nomination d'une commission au Ministère de la guerre qui va comparer les deux systèmes, au point de vue spécial de l'emploi des projecteurs dans les armées. Votre correspondant anonyme, en présence de ces renseignements, continuera-t-il à considérer les projecteurs paraboliques comme définitivement abandonnés?

Nous vous prions de vouloir bien publier dans votre prochain numéro cette rectification qui nous paraît nécessaire, et nous vous prions d'agréer, Monsieur le Directeur, l'assurance de notre considération distinguée.

MAISON BRÉGUET.

Les expériences auxquelles cette lettre fait allusion sont très intéressantes. Pour clore définitivement cette discussion, nous les résumerons plus complètement, d'après le rapport officiel.

Les deux projecteurs étaient du type de 60 cm. de diamètre et munis de lampes mixtes dont le fonctionnement automatique seul intéressait la commission d'essais.

Les expériences furent commencées le 9 décembre 1892. L'avantage avec des dynamos fournissant un courant à 70 volts; la lampe Bréguet était très fixe à 46 volts et 70 ampères, la lampe Sautter réglait très mal. La différence de potentiel aux bornes variait entre 35 et 55 volts, le courant entre 40 et 110 ampères. Dans une seconde série d'expériences, la lampe Sautter réglait mieux; on apercevait le torpilleur pendant 22 minutes avec le projecteur parabolique, et pendant 21 minutes avec le miroir sphérique.

La comparaison des deux lampes n'a laissé aucun doute sur la supériorité de la lampe Bréguet. La comparaison des projecteurs, déduite des observations faites avec la lampe Bréguet successivement introduite dans les deux appareils, permet de conclure assez sûrement à l'égalité des deux miroirs ou à une supériorité extrêmement minime du miroir parabolique.

Les expériences furent reprises avec un courant à 80 volts. Le 19 décembre, on obtint les résultats suivants :

Lampe Bréguet 48 volts et 60 ampères; très fixe pendant toute la durée de l'expérience. Lampe Sautter 40 à 55 volts, et 50 à 70 ampères. On a vu le torpilleur pendant 23 minutes avec le miroir parabolique (5.175 m.) et 23' 20" avec le miroir sphérique (5.250 m.). Les expériences du 20 décembre dont les résultats sont donnés plus haut, ont servi de clôture à la série des essais. Les conclusions ont été les mêmes que dans la première série.

N. D. L. R.

CHRONIQUE

L'éclairage électrique des villes au Conseil d'Etat. — Les traités intervenus entre les municipalités et les compagnies d'éclairage au gaz contiennent presque tous une clause aux termes de laquelle les villes s'interdisent d'autoriser ou de favoriser sur le domaine municipal tout établissement pouvant faire concurrence à leurs concessionnaires; les compagnies obtiennent aussi le droit exclusif d'éclairer les communes, sans distinguer d'ailleurs entre l'éclairage public et l'éclairage des particuliers.

Mais doit-on distinguer entre l'éclairage au gaz et tout autre système, par exemple l'éclairage électrique? Un grand nombre de municipalités ont cru n'être liées envers les compagnies concessionnaires qu'en tant qu'il s'agissait d'éclairer au gaz et ont émis l'intention d'autoriser des tiers à poser des fils pour l'éclairage électrique, ce dernier système n'étant pas, suivant elles, prévu au contrat.

Sur ce point, la jurisprudence du Conseil d'Etat est fixée, et chaque fois qu'un litige a été soulevé dans ces termes, les compagnies gazières ont gagné leurs procès. Il a été jugé que, si les anciens traités réglementent uniquement l'éclairage par le gaz, seul procédé autrefois en usage, il n'en résulte pas moins de l'esprit même du contrat que, sauf réserve expressément stipulée, un traité qui concède à une compagnie d'éclairage au gaz le droit exclusif de poser des canalisations sous la voie publique doit être considéré comme un traité *général* d'éclairage, auquel les municipalités sont mal fondées à porter atteinte en autorisant l'éclairage par un nouveau système, quel qu'il soit.

Le Conseil d'Etat vient de faire un pas de plus dans cette jurisprudence. Il s'agissait d'un procès entre la ville de Limoges et sa compagnie concessionnaire de l'éclairage au gaz. Le contrat contenait, il est vrai, une clause portant qu'en cas de découverte d'un mode nouveau d'éclairage, la municipalité se réservait le droit de concéder l'autorisation nécessaire pour l'exploitation du système nouveau. Mais il était, en outre, stipulé que la ville devrait donner la préférence, à conditions égales, à la compagnie du gaz, si celle-ci en faisait la demande.

Le Conseil d'Etat, statuant au contentieux, vient d'interpréter cette réserve en ce sens qu'elle « ne

peut s'entendre que de l'application du nouveau système au service de l'éclairage de tout ou partie de la ville, à des clauses et conditions déterminées ». Il en résulte que la ville ne pourrait se fonder sur l'existence de cette clause pour autoriser des tiers à fournir la lumière électrique à quelques établissements isolés. Si elle veut concéder l'éclairage électrique, ce doit être par un traité général; dans tout autre cas, en effet, le droit de préférence stipulé au profit de la compagnie gazière deviendrait illusoire.

Le bec Auer. — La commission instituée par *The Lancet*, de Londres, pour étudier au point de vue de l'hygiène, les différents systèmes d'éclairage, fait observer dans son rapport que la lumière produite par le bec Auer est extrêmement intense, blanche et brillante, et que, « pour certains usages, il est désirable de réduire son éclat de façon à affecter à un moindre degré les muscles d'accommodation de l'œil ».

Comme conclusion de leurs nombreuses expériences, les commissaires disent :

« En considérant les systèmes d'éclairage artificiel qui sont actuellement le plus en vogue, le système à incandescence par l'électricité doit évidemment être placé le premier au point de vue hygiénique, puisqu'il ne donne pas de fumée et présente un effet agréable sans produire la moindre viciation de l'air ambiant.

Il n'y a pas de combustion et par suite il n'y a pas de produits de combustion complète ou incomplète.

Au même point de vue nous aurons à placer ensuite, d'après les résultats des expériences que nous venons de faire, l'éclairage au gaz par incandescence sous sa nouvelle forme. »

L'influence des rayons verts, qui donnent à la lumière du bec Auer sa teinte blafarde, peut être atténuée par l'emploi de cheminées en verre rouge; mais on perd alors une certaine quantité de lumière.

Malgré sa moindre économie, la lampe à incandescence n'est pas près de céder le terrain au bec à incandescence trop prôné par la réclame. Nous n'en voulons pour preuve que le passage suivant du rapport annuel de la Société du secteur de la place Clichy :

« On a fait grand bruit récemment au sujet de la concurrence que le bec Auer devait faire à l'électricité. Ce bec constitue un progrès incontestable par rapport aux autres systèmes d'éclairage par le gaz, mais nous ne pensons pas que le public abandonnera les agréments de l'électricité, et acceptera toutes les sujétions d'un appareil qui conserve les désagréments du gaz et en ajoute d'autres.

« En tous cas nous constatons que sur le secteur de Clichy, il ne s'est trouvé que cinq abonnés abandonnant l'électricité pour recourir à l'incandescence par le gaz et qu'en revanche, nous avons déjà inscrit au nombre de nos abonnés nouveaux deux anciens clients du bec Auer. »

Téléphonie à grande distance. — Le gouvernement autrichien a accepté la proposition de l'Italie de relier Vienne à Milan par une ligne téléphonique. Comme Milan est déjà en relation avec Rome, les deux capitales seront en communication directe par une des lignes les plus longues de l'Europe.

Nécrologie. — On annonce la mort du Dr Martin Kiliani, directeur de la Société de l'industrie de l'aluminium, à Neuhausen.

L'électricité dans les mines. — La Société de navigation à vapeur du Danube possède le puits Tommen, près de Fünfkirchen, en Hongrie, dont l'extraction fut suspendue pendant quelque temps. Lorsqu'il s'agit d'épuiser les eaux qui s'y étaient accumulées, et d'établir en outre un triage de charbon, on résolut de recourir à l'emploi de l'électricité par mesure d'économie.

A cette fin, une machine d'extraction monocylindrique, sans emploi dans la mine, fut montée pour actionner une dynamo de 80 ampères sous 150 volts.

Celle-ci envoie son courant soit à une réceptrice placée au fonds du puits à une distance de 227 mètres et une profondeur de 141, laquelle actionne par courroie une pompe faisant 650 tours à la minute et d'une puissance effective de 10 chevaux; soit à une réceptrice placée à la surface, à 56 m. 50 de distance et pouvant développer 12 chevaux lorsqu'elle fait 750 tours à la minute.

Toute l'installation, qui n'a encore subi aucun arrêt, a été mise en service le 14 mars 1893. Cependant la pompe a fonctionné dès la fin du mois de janvier.

La dépense totale, y compris le prix de la machine à vapeur, les frais de transport, de fondation et de montage, s'est élevée à la somme de 46,200 francs. *Elle eût été de 7,000 francs plus élevée, si elle s'était faite exclusivement au moyen de la vapeur.*

L'installation n'exige que la présence de deux hommes dont l'un dessert la dynamo-génératrice et l'autres les réceptrices.

Le carbure de calcium, nouveau produit du four électrique. — Les hautes températures obtenues au moyen de l'arc électrique ont permis à plusieurs savants, notamment à M. Moissan, d'obtenir la réduction directe par le charbon de certains oxydes métalliques, tels que l'alumine, par exemple, qui avaient échappé jusqu'alors à l'action réductrice du carbone. Il était à espérer qu'en traitant dans le four électrique un mélange de chaux et de charbon, on pourrait, en élevant suffisamment la température, arriver à isoler le calcium métallique.

Un savant américain, ayant travaillé dans cette voie, constata que la chaux était, en effet, transformée dans ces conditions, mais le produit de l'opération était une combinaison du calcium avec le carbone correspondant à la formule $Ca\,C^2$.

L'importance de cette découverte inattendue tient tout entière à une curieuse propriété de ce carbure. Mis en contact avec l'eau, ce corps la décompose à la température ordinaire, avec production d'un carbure d'hydrogène important, l'acétylène.

L'acétylène est un gaz dont la puissance éclairante est quinze fois plus élevée que celle du gaz d'éclairage ordinaire. Or, une tonne de carbure de calcium préparée dans le four reviendrait à 100 francs seulement et fournirait 300 mètres cubes d'acétylène ; le mètre cube reviendrait donc à 33 centimes et vaudrait, au point de vue de l'éclairage, 15 mètres cubes de gaz d'éclairage.

De là à songer à la transformation des usines d'électricité en fabriques d'acétylène faisant concurrence aux usines à gaz, il n'y a qu'un pas, mais un pas un peu risqué. M. Claude vient de le faire dans un article de l'*Etincelle électrique*, où il montre que 1.000 chevaux-heures électriques permettraient de produire, en passant par l'acétylène, une quantité de lumière de 235.000 bougies-heures, tandis qu'utilisée directement dans les lampes à incandescence à 3,5 watts par bougie, on n'arrive qu'à 200.000 bougies-heures pour la même quantité d'énergie. La différence ne nous semble pas suffisante pour permettre d'augurer une transformation quelconque de l'industrie de l'éclairage, d'autant que les inconvénients reprochés aux éclairants basés sur la combustion à l'air libre subsistent avec l'acétylène.

C'est dans un autre ordre d'idées que la production électrique indirecte de l'acétylène au moyen du carbure de calcium et de l'eau peut avoir son importance. Comme le fait remarquer M. A. Wilke, il n'y avait pas jusqu'ici de procédé vraiment pratique pour la préparation des combinaisons primaires en partant de leurs éléments. Le carbure de calcium nous en offre un, et quoique l'acétylène soit par lui-même d'assez peu de valeur, il représente néanmoins un carbure d'hydrogène que nous pouvons obtenir par synthèse. Or, il est permis de voir un peu plus loin et d'espérer que la synthèse d'autres carbures, liquides ou gazeux, et de l'alcool n'est plus si éloignée. Pour ce dernier corps, il s'agira principalement de transformer l'acétylène en éthylène, ce que l'arc électrique ou l'étincelle sera peut-être capable d'accomplir.

On conçoit les modifications économiques profondes que la découverte de pareils procédés synthétiques pourrait avoir pour conséquence dans l'industrie et dans l'agriculture, et c'est encore et toujours à l'électricité qu'elles seront dues.

Câble de Majungà à Mozambique. — Le port de Toulon vient de recevoir l'ordre de préparer le matériel du service des câbles sous-marins qui sera envoyé à Majunga pour établir un câble entre ce port et la côte de Mozambique.

Accident dû à l'électricité. — Nous avons mentionné récemment un accident survenu à Bucharest et causé par la chute d'un fil télégraphique sur le fil du trolley. Un nouvel accident s'est produit le 14 février. Le givre s'étant amassé en grande quantité sur les fils aériens, un fil de support du câble du tramway électrique s'est rompu et le courant a foudroyé un homme et un cheval.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 2 Mars 1895. N° 9.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE DES SOURCES DE LUMIÈRE

But de cette Étude.

L'évaluation de l'effet utile d'une source de lumière dépend évidemment de l'usage auquel on la destine. Ainsi cet effet sera mesuré par l'intensité horizontale, s'il s'agit d'éclairer à grande distance; par le flux de lumière total produit, s'il s'agit d'éclairer un local fermé ; par le flux émis au-dessous de l'horizon dans le cas de l'éclairage d'un espace découvert ; par l'éclat intrinsèque si la source doit être employée dans un projecteur ; par la valeur et la répartition des intensités lumineuses si l'on veut étudier la variation des éclairements produits.

Mais, quel que soit le point de vue auquel on se place, il est particulièrement utile de connaître le flux lumineux total émis par la source, car c'est là en définitive ce qui mesure son rendement, et l'on peut toujours employer des artifices optiques qui permettront pratiquement d'utiliser pour le mieux dans chaque application la lumière disponible.

Par suite d'une singulière anomalie, cette notion du flux, si répandue aujourd'hui dans toutes les branches de la physique, est encore exclue de la photométrie par beaucoup de physiciens qui ne se font peut être pas une idée suffisante des besoins nouveaux de cette science (1). Aussi a-t-on jusqu'ici préféré la masquer par un artifice en définissant les sources de lumière par leur intensité moyenne sphérique, quantité tout à fait artificielle dont on va rappeler la définition.

Je me propose de montrer ici comment on peut se passer de cet artifice pour étudier directement le flux lumineux et comment on peut mesurer celui-ci pratiquement.

I. DÉFINITIONS

Le flux lumineux peut être défini d'une manière analogue au flux magnétique, en considérant l'éclairement comme l'analogue de l'induction. Si on coupe les rayons lumineux par une surface quelconque, le flux qui traverse celle-ci est la somme des produits des éclairements E par les éléments de surface *ds* auxquels ils s'appliquent

$$\Phi = \int E\, ds$$

Cette définition ne suppose rien sur l'origine

(1) On a conservé presque partout pour désigner le flux la vieille terminologie de « quantité de lumière » qui est en contradiction avec celle qu'on adopte pour l'étude de la chaleur, et est d'autant plus regrettable que les effets lumineux et calorifiques ne sont en définitive que deux aspects différents d'un même phénomène.

du flux ; quand celui-ci provient d'une source ponctuelle ou assimilable à un point lumineux, on peut transformer cette expression en une autre où interviennent l'intensité lumineuse et l'angle solide.

Soit $d\sigma$ (fig. 1) l'angle solide sous-tendu par l'élément de surface infiniment petit ds, c'est-à-dire la surface découpée sur une sphère de rayon 1 par le cône ayant la source pour sommet O et ds pour base. Soit β l'angle de la normale CN à ds avec l'axe du cône, I l'intensité lumineuse produite par la source dans la direction correspondante, et ρ la distance de

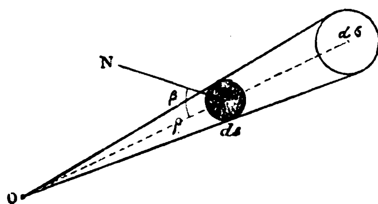


Fig. 1.

la source à l'élément de surface. On a par définition

$$E = \frac{I}{\rho^2} \cos \beta$$

$$d\sigma = \frac{ds \cos \beta}{\rho^2}$$

d'où

$$E\, ds = I\, d\sigma$$

L'élément de flux contenu dans un cône élémentaire est donc égal au produit de l'intensité dans la direction considérée par l'angle solide de ce cône (¹) ; et le flux total peut être défini par l'équation

$$\Phi = \int I\, d\sigma$$

l'intégrale s'étendant à tout l'angle solide occupé par le flux.

Si l'on embrasse tout l'espace environnant la source, l'angle solide total est 4π et le flux est le flux total émis par cette source.

Il est logique de traiter ce flux comme toutes les autres quantités physiques et de l'évaluer en fonction d'une unité spéciale de même nature, qu'on appellera « l'unité de flux » dans le système photométrique employé. Ce système peut être caractérisé par ses 3 unités fondamentales d'intensité lumineuse, de longueur et de temps (¹) ; par exemple dans le système basé sur le bec Carcel, le mètre et la seconde, on dira « l'unité (BC. M. S.) de flux ». Pour simplifier le langage dans le système international, ayant pour base la bougie décimale ou *pyr*, on peut donner à l'unité de flux le nom de « lumen » que nous avons proposé (²).

Le « lumen » est défini comme le flux produit par une source d'intensité uniforme de 1 pyr dans un angle solide égal à l'unité (l'unité d'angle solide, ou « sphéradian », est l'angle solide qui intercepte une surface égale à 1 m² sur une sphère de rayon égal à 1 m. ayant pour centre le sommet de l'angle).

N'ayant pas cette unité à leur disposition, les premiers auteurs qui ont voulu évaluer la lumière totale produite par une source ont pris un détour pour l'exprimer en fonction de l'unité d'intensité ; ils ont attribué à la source une intensité moyenne égale à celle d'une source uniformément éclairante qui produirait le même flux total Φ (³). Cette intensité, qu'on a appelée moyenne sphérique pour rappeler son origine, est donc définie par l'équation

$$I_{ms} = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{\int I\, d\sigma}{4\pi}$$

Le grand inconvénient de cette façon d'évaluer le flux indirectement, c'est qu'elle ne s'applique pas à un angle solide quelconque et qu'elle donne lieu à des idées fausses, beaucoup d'ingénieurs ayant une tendance à traiter les sources de lumière dont on leur indique la moyenne sphérique comme si elles avaient réellement cette intensité dans toutes les directions.

(¹) Cette définition est l'analogue de celle du flux magnétique produit par un pôle d'intensité ou masse I.

(¹) L'intensité lumineuse joue alors en photométrie un rôle analogue à la masse dans les systèmes d'unités mécaniques.

(²) Voir *Lumière électrique*, 7 juillet 1894, et E. Hospitalier, *l'Industrie électrique*, 25 juillet 1894.

(³) Cette définition de l'intensité moyenne sphérique est la seule correcte.

Dans tout ce qui va suivre, nous en ferons abstraction et, en rappelant les méthodes connues, nous les adapterons directement à l'étude du flux.

II. Méthodes anciennes pour la mesure de la moyenne sphérique

Principe du calcul. — Jusqu'ici on n'a employé pour la mesure du flux lumineux total d'une source qu'une méthode indirecte consistant dans l'étude de la répartition des intensités lumineuses dans les diverses directions. Cette étude serait d'une complexité inadmissible si on devait la faire pour des sources de lumière dénuées de symétrie. Mais la plupart des sources usuelles présentent, théoriquement tout au moins, un axe de symétrie vertical, et on peut admettre que la distribution de la lumière est de révolution autour de cet axe.

En partant de cette remarque, M. Allard, qui a étudié le premier la répartition des intensités des lampes à huile et des lampes à arc, a indiqué en 1879 une méthode élégante qui permet de calculer la moyenne sphérique

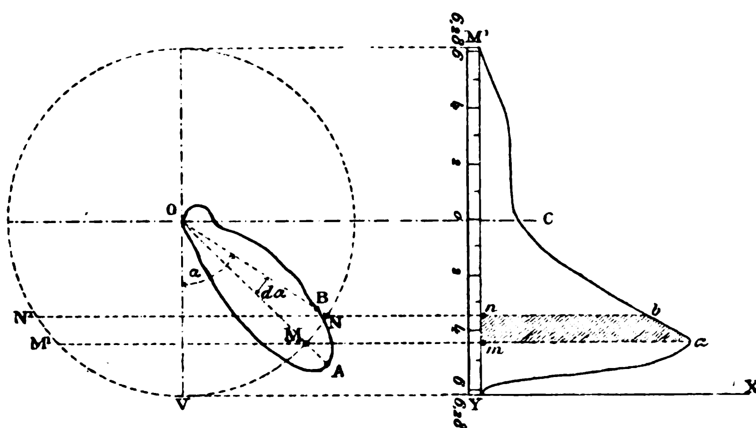


Fig. 2. — Courbe photométrique polaire et courbe des flux correspondants.

indirectement et qui a été la seule employée jusqu'ici.

Elle consiste, comme on le sait, à déterminer les valeurs des intensités lumineuses dans un plan méridien [1] et à tracer la courbe polaire, dite courbe photométrique, qui la représente. Soit OAB (fig. 2) une semblable courbe obtenue par des mesures sur lesquelles on reviendra plus loin. Soit OV l'axe de symétrie de la source. On admet que l'intensité I_α mesurée suivant l'angle α à partir de la droite OV sera commune à toutes les directions formant autour de OV un cône de révolution d'angle α ; celui-ci découpe sur une sphère de rayon r tracée autour de O comme centre un parallèle MM'.

Soit ON une direction infiniment voisine formant avec la précédente un angle $d\alpha$ et engendrant un cône de révolution voisin du premier ; l'espace compris entre les deux cônes définit un angle solide élémentaire $d\sigma$, dans lequel l'intensité lumineuse est partout sensiblement I_α ; cet angle solide est le rapport de la zone sphérique MM'NN' au carré du rayon de la sphère.

On trouve ainsi

$$d\sigma = 2\pi \sin\alpha \, d\alpha$$

et le flux élémentaire correspondant

$$d\Phi = 2\pi \, I_\alpha \sin\alpha \, d\alpha$$

Cette expression permet d'évaluer par intégration non seulement le flux total

$$\Phi_{tot} = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \sin\alpha \, d\alpha$$

[1] En prenant au besoin la moyenne des lectures dans plusieurs méridiens.

mais encore le flux compris entre 2 parallèles quelconques d'angles α et β.

$$\Phi_{\alpha}^{\beta} = 2\pi \int_{\alpha}^{\beta} I_{\alpha} \sin \alpha \, d\alpha$$

L'intensité moyenne sphérique correspondante au flux total est

$$I_{m s} = \frac{1}{2} \int_{0}^{\pi} I_{\alpha} \sin \alpha \, d\alpha$$

On définit aussi une autre intensité moyenne dite hémisphérique inférieure,

$$I_{hm s} = \int_{0}^{\frac{\pi}{2}} I_{\alpha} \sin \alpha \, d\alpha$$

La considération de ces deux moyennes est une source perpétuelle de confusion ; d'ailleurs il faudrait, pour être logique, définir une intensité moyenne nouvelle pour chaque flux qu'on peut considérer, et appeler « intensité moyenne entre les parallèles α et β » l'expression

$$I m \; (\alpha,\beta) = \frac{1}{\cos\alpha - \cos\beta} \int_{\alpha}^{\beta} I \, \alpha \sin \alpha \, d\alpha,$$

car en multipliant cette expression par l'angle solide total 2π $(\cos \alpha - \cos \beta)$, on retrouve bien le flux correspondant. Pour ces motifs nous préférons mesurer le flux lui-même, c'est-à-dire l'intégrale toute seule.

Courbe des flux. — Pour y arriver, deux moyens se présentent : ou bien faire les produits par zones finies, comprenant des angles de 10 degrés par exemple, en appliquant à chacune la valeur moyenne de I_{α} correspondante (c'est ce qu'on a fait à l'Exposition de 1881); ou bien recourir à une intégration graphique. Celle-ci se fait aisément par la transformation bien connue indiquée par M. Rousseau à l'Exposition d'Anvers. Je rappelle celle-ci avec quelques détails, seulement pour bien faire saisir la façon dont interviennent les échelles du dessin et montrer comment on peut mesurer le *flux* lui-même.

Considérons la courbe OAB tracée à une certaine échelle pour ses rayons vecteurs, 1 millimètre représentant par exemple 2 pyrs, et supposons que le rayon de la circonférence sur le dessin soit un certain nombre de millimètres que j'appelle r.

La courbe transformée Y'*ba*Y rapportée aux deux axes rectangulaires YY', YX (dont le premier est parallèle à OY), se construit en projetant sur YY' les extrémités MN, etc., des zones successives et en portant comme abscisses, correspondants *ma*, *nb*, etc., des longueurs égales aux rayons OA, OB, etc., mesurés suivant les directions aboutissant aux points M, N, etc.

L'angle solide correspondant à la zone MNM'N', dont la protection est $\overline{mn}$, mesurée également en millimètres, aura pour valeur numérique

$$\frac{2\pi \; \overline{mn} \times r}{r^2} = \frac{2\pi}{r} \overline{mn}.$$

L'aire $\overline{emnab}$ est donc proportionnelle au produit de l'intensité par l'angle solide, c'est-à-dire au flux reçu par la zone MNM'N.

Si cette aire est mesurée en millimètres carrés, il suffit de la multiplier par $\frac{2\pi}{r}$ et de la diviser par l'échelle des intensités (ici 2 mm.), pour obtenir le flux en *lumens*.

Il est facile de s'affranchir de ce facteur $\frac{2\pi}{r}$ en graduant directement l'axe des ordonnées YY' ou angles solides de manière que la longueur YY' soit égale à $4\pi = 12{,}57$ unités de cette échelle, ainsi que le montre la figure 2. Il suffit alors de planimétrer la surface par la méthode de Simpson, pour obtenir les flux exprimés directement en unités de flux.

La courbe ainsi obtenue peut donc être appelée la *courbe des flux* par opposition à la première qui est la courbe des intensités.

Procédés expérimentaux pour le tracé des courbes d'intensité. — On a imaginé, comme on le sait, un grand nombre de dispositifs permettant de mesurer les intensités sous des inclinaisons variables dans un même plan méridien; ces dispositifs sont décrits avec détails dans les différents traités de photométrie [1], et je ne les rappel-

[1] Krüss, Palaz, etc.

lerai donc pas ici. Les uns s'appliquent aux lampes à arc à feu nu, les autres aux lampes à incandescence; mais il y en a peu qui permettent l'étude facile d'un arc sous globe, bien que cela soit une des plus intéressantes pour la pratique de l'éclairage par lampes à arc.

Tous les dispositifs qui font usage de miroirs à inclinaison variable, combinés avec un déplacement de la source de lumière, prêtent à la critique, aussi bien par leur complication que par la nécessité de déterminer le coefficient d'absorption du miroir sous toutes les inclinaisons employées. Il me paraît donc utile de signaler un appareil universel, que j'ai employé souvent, s'appliquant aux lampes sous globes aussi bien qu'aux arcs nus : c'est l'appareil représenté par la figure 3, et dont l'idée première a été indiquée, je crois, par M. von Hefner-Alteneck.

La lampe à photométrer, avec ou sans globe, est suspendue à une potence dans une position

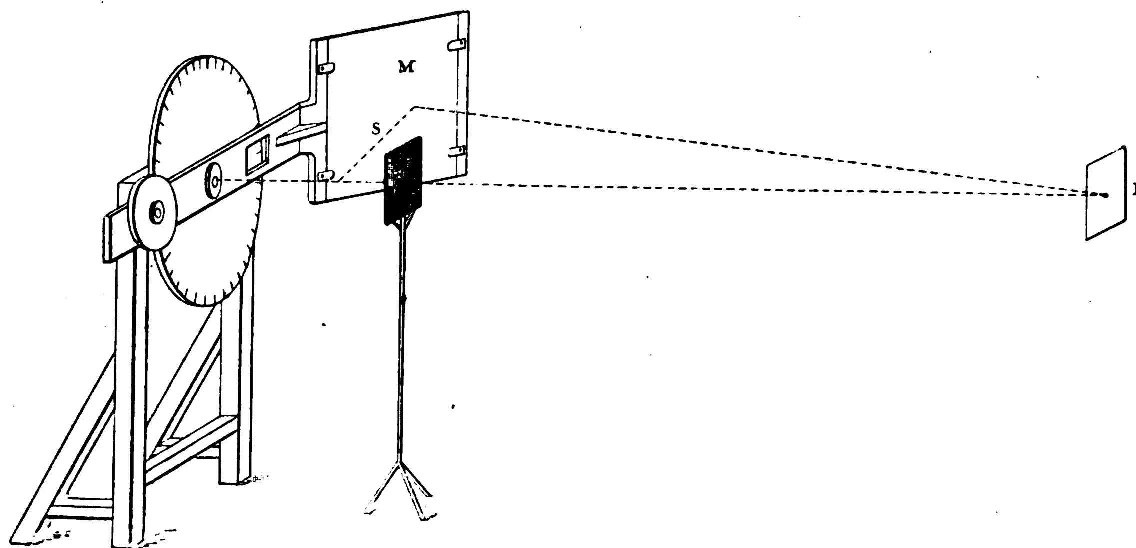


Fig. 3. — Appareil simple pour la détermination des courbes photométriques.

invariable telle, que le foyer lumineux S (fig. 3 et 4) se trouve sur l'axe de rotation aa' d'un bras coudé B portant à son extrémité un grand miroir M, et muni d'une alidade permettant de lire l'inclinaison sur un cercle gradué C. Le miroir fait un angle constant avec le bras B quelle que soit sa position, et cet angle est réglé de façon que le point où l'axe du faisceau réfléchi (qui décrit un cône lorsqu'on déplace le miroir) coupe l'axe de rotation aa' coïncide avec le centre de l'écran E d'un photomètre. On choisit la distance SE assez grande pour que l'inclinaison de ME par rapport à l'axe, soit négligeable, ainsi que le diamètre apparent de la source ou du globe vu de E. Les rayons directs de la lampe sont arrêtés par un écran. En donnant au miroir toutes les positions autour de la source, on étudie l'intensité dans toutes les directions comprises dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe, et ces directions sont indiquées chaque fois par la position de l'alidade. L'angle d'incidence des rayons sur le miroir restant le même dans toutes les directions, il suffit de déterminer le coefficient d'affaiblissement une fois pour toutes; on peut d'ailleurs étalonner directement l'appareil et le photomètre tout ensemble, en plaçant en S un étalon de lumière et en dirigeant SM suivant l'horizontale.

Ce dispositif a toujours donné, en pratique, de bons résultats; aussi a-t-il été adopté ré-

cemment par le Laboratoire central d'électricité.

Le miroir M ayant en pratique un coefficient de réflexion d'au moins 75 p. 100, lorsqu'on mesure des arcs un peu intenses, on pourrait ne pas disposer, dans un local restreint, d'un recul suffisant pour le photomètre. Dans ce cas, il suffit de remplacer la glace argentée par une glace sans tain bien plane, qui donnera un coefficient de réflexion de 10 p. 100 environ, ou par une glace en verre noir parfaitement opaque, qui ne donne que 5 p. 100 environ de lumière réfléchie sous les incidences usuelles. On peut employer comme photomètres tous les types courants, et en particulier le Bunsen.

Pour les lampes à incandescence, on peut les étudier aussi à l'aide de cet appareil, et, si l'on a soin de leur donner un rapide mouvement de rotation, comme l'a indiqué M. Crova ([1]), il suffira, pour avoir la moyenne sphérique, d'étudier la répartition des intensités dans un seul méridien. J'ai fait construire récemment un appareil de ce genre, actionné directement par un moteur électrique à axe vertical, et qui appartient maintenant au Laboratoire Central.

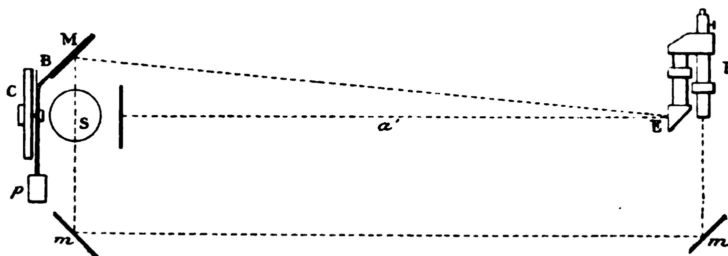


Fig. 4. — Schéma du dispositif pour opérer en lumière isochrome.

Inconvénients de la méthode précédente. — Malgré sa simplicité apparente, cette méthode est très pénible à cause du nombre considérable de mesures qu'elle exige toutes les fois que la source de lumière n'est pas exactement de révolution. C'est en particulier le cas qui se présente toujours pour l'arc électrique, par suite des inégalités de taille des crayons. Pour faire une mesure rigoureuse de moyenne sphérique, il faudrait étudier la répartition de l'intensité lumineuse au moins dans quatre azimuths, à 90 degrés les uns des autres; mais pendant que l'on ferait cette opération, le cratère aurait le temps de modifier sa forme, ce qui rendrait ce travail illusoire. On est donc forcé de se contenter de lectures prises dans un ou deux azimuths seulement. M. Wedding recourt dans ce but à deux observateurs opérant simultanément dans deux azimuths opposés. Il serait facile de modifier l'appareil de la figure 3, de manière à permettre le même artifice, en remplaçant le contrepoids par un second miroir analogue au premier, mais éclairant un photomètre plus reculé sur l'axe. Mais tout cela est assez compliqué.

D'autre part, comme la lumière est constamment variable, même dans les arcs les mieux réglés, il faut, comme l'a indiqué M. Allard, faire pour chaque direction plusieurs lectures à des intervalles de temps égaux. On peut éliminer dans une certaine mesure cette difficulté, en même temps qu'on supprime les erreurs de la photométrie hétérochrome, en prenant comme unité provisoire de lumière, pendant le tracé de la courbe des intensités, une de ces intensités elle-même : le photomètre radial de M. Rousseau a été imaginé précisément dans ce but. On peut arriver au même résultat, à l'aide du dispositif de la

([1]) *Congrès des électriciens de 1889*, p. 208.

figure 4. On recueille les rayons émis horizontalement par la lampe dans un azimuth voisin de celui où l'on opère (¹), à l'aide d'un miroir *m* qui les envoie à peu près parallèlement à l'axe optique, et on emploie un photomètre Mascart disposé comme l'indique la figure, après qu'on a enlevé la lampe et la lentille de collimation correspondante. On peut ainsi éclairer l'écran intérieur de ce photomètre par les rayons horizontaux émis par le miroir *m*, en les dirigeant à l'aide d'un second miroir *m'* dans la lunette débouchée ; de cette manière, c'est l'arc lui-même qui sert d'étalon au lieu de la petite lampe Pigeon, et toutes les mesures se font par rapport à une unité inconnue, qu'on détermine ensuite par une mesure directe d'une des intensités de la courbe.

Malgré toutes ces précautions, assez compliquées d'ailleurs, cette méthode de détermination de la moyenne sphérique manque absolument de précision, et une longue pratique de ce genre de mesures me permet de croire que les erreurs atteignent facilement 20 o/o sur ladite moyenne. Le tracé de la courbe d'intensité dans un azimuth n'exige d'ailleurs pas moins de une heure de travail et constitue une besogne des plus fastidieuses. Il ne peut donc être intéressant d'y recourir que lorsqu'il s'agit d'une source de lumière nouvelle, dont on tient à connaître la loi de répartition. Pour toutes les sources dont la loi est suffisamment connue dans son ensemble, il est désirable de pouvoir opérer autrement et avec plus de précision si cela est possible.

Avant d'indiquer les méthodes qui paraissent conduire à ce résultat, il est bon de rappeler les formules qui peuvent être employées pour simplifier la recherche de la moyenne sphérique.

ANDRÉ BLONDEL.

(*A suivre.*)

(¹) Pour rendre la figure plus intelligible on a représenté le miroir dans l'azimuth opposé.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE (¹)

DEUXIÈME PARTIE

EXPÉRIENCES

CHAPITRE PREMIER

EXPÉRIENCES DE HERTZ. — FRANGES D'INTERFÉRENCE.

12. *Expériences de Hertz.* — On peut naturellement répéter facilement, avec les appareils décrits dans la première partie de ce mémoire, l'expérience classique de l'interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie normalement sur une lame métallique. Le réflecteur doit avoir des dimensions qui soient en rapport avec la longueur d'onde adoptée. Ainsi, avec les plus petits appareils ($\lambda = 2{,}6$ cm.), une lame de la grandeur de la main est plutôt nuisible. Au contraire, le phénomène s'obtient de la façon la plus nette en adoptant comme réflecteur une simple pièce de monnaie de 10 centimes. La plus grande distance à laquelle on peut placer le réflecteur par rapport à l'excitateur (qu'on doit toujours supposer muni de son miroir parabolique, à moins qu'on n'avertisse du contraire), est de 0,50 m. environ.

Avec les plus grands appareils, cette distance peut être de plusieurs mètres, et le réflecteur peut être formé par une lame de plusieurs décimètres de côté. Dans tous les cas, on voit le résonnateur, tenu simplement à la main et sans aucun accessoire, étinceler vivement lorsqu'il est à une distance du réflecteur égale à $\frac{\lambda}{4}$, s'éteindre complètement à une distance égale à $\frac{\lambda}{2}$ et étinceler de nouveau à la distance de $3\frac{\lambda}{4}$, et ainsi de suite.

(¹) Voir l'*Eclairage électrique* du 23 février 1895, p. 350.

La détermination de λ, par ce procédé, est cependant peu sûre ; il vaut mieux recourir à une autre méthode décrite plus loin (voir § 15).

Les autres expériences principales de Hertz, comme la réfraction par un prisme, l'effet de polarisation produit par un réseau de fils parallèles, la réflexion partielle des rayons, etc., se répètent avec la plus grande facilité et avec des appareils accessoires de dimensions très réduites. Par exemple, pour la réfraction, le prisme peut ne pas être plus grand que ceux qu'on emploie en optique, si l'on fait usage des appareils III, donnant des longueurs d'onde égales à 2,6 cm.

13. *Expérience des miroirs de Fresnel.* — Boltzmann a réalisé pour la première fois une expérience analogue à celle des miroirs de Fresnel (¹). Cet auteur n'avait cependant publié aucun détail relativement à ses expériences et l'on ne pouvait savoir s'il était parvenu à observer beaucoup de franges d'interférence distribuées les unes près des autres pour une position donnée des appareils. On peut supposer, cependant, que cela ne lui était pas possible, en raison de la grande longueur d'onde employée.

Entre l'expérience de Fresnel et l'expérience analogue produite avec des ondulations électriques, il existe, en fait, une différence très grande au point de vue pratique. Quand on expérimente avec des ondes lumineuses, on doit chercher à obtenir des franges d'interférence dont les distances réciproques soient beaucoup plus grandes que la longueur d'onde, sans quoi ces franges ne pourraient être discernées. De là résultent et la nécessité de donner à l'angle que font entre eux les miroirs une valeur un peu inférieure à 180 degrés, et celle d'observer les franges à une grande distance des miroirs.

Dans l'expérience électromagnétique analogue, non seulement il n'est pas nécessaire d'obtenir des franges assez éloignées, mais au contraire, il faut que leur distance réciproque dépasse peu la demi-longueur d'onde ; dans le cas contraire, en effet, il n'y aurait place que pour un faible nombre de franges dans le champ commun aux deux faisceaux de radiations réfléchies par les deux miroirs. L'angle de ceux-ci doit donc être plus petit que 180 degrés, et le résonnateur doit être placé successivement en différents endroits de la région à proximité des miroirs. Il serait évidemment avantageux d'employer des petites longueurs d'ondes.

J'ai réalisé l'expérience avec des longueurs d'onde de 10,6 cm.

En O (fig. 6) est placé l'excitateur II qui est constitué par des sphères de 3,75 cm. de diamètre; pour cette expérience, il est privé de son réflecteur parabolique ; son axe est vertical; SP et SQ sont deux lames métalliques verticales, ayant la forme d'un carré de 40 cm. de côté. Si O_1 et O_2 sont les images de O données par les deux miroirs, les deux faisceaux interférents, abstraction faite de la diffraction, sont MO_1S et SO_2N ; la région qui leur est commune est MBSCN (¹). Le phénomène est symétrique relativement au plan vertical passant par SA, A étant le milieu de O_1O_2. Si le miroir SQ était plus écarté de SP, de façon que le point C tombât sur la perpendiculaire BD abaissée de B sur AS, alors même, le champ commun aux deux faisceaux interférents serait symétrique par rapport au plan susdit.

Si nous appelons

α l'angle de PS avec le prolongement de QS,

i l'angle d'incidence de O sur le miroir PS,

$i' = i - \alpha$, l'angle d'incidence de OS relatif au miroir SQ,

a la distance OS entre la source O des radiations et l'arête commune des deux miroirs,

b et b' la largeur SP et SQ de ceux-ci,

On trouve facilement, par des considérations géométriques, que

(¹) Boltzmann. *Wied. Ann.*, t. XV, p. 399, 1890. *La Lumière électrique*, t. XXXVII, p. 342 et t. XLI, p. 457.

(¹) Dans le cas particulier de la figure, la partie CSQ du champ commun n'est pas accessible, et cela parce que $\alpha > 90° - i$. Les angles α et i seront définis plus loin.

$$SB = \frac{ab \cos i}{a \sin 2\alpha - b \cos (2\alpha - i)},$$

$$SC = \frac{ab' \cos i'}{a \sin 2\alpha - b' \cos (2\alpha + i')}$$

et comme les angles BSD et CSD sont égaux à α, on peut trouver aussi les valeurs BD, SD, CE, SE.

Comme enfin on a encore :

$$O_2B = a + SB$$

$$O_1B = SB \frac{\sin 2\alpha \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \sin i}}{b \cos i},$$

on peut aussi trouver la différence de marche qui correspond au point B. Par conséquent, il

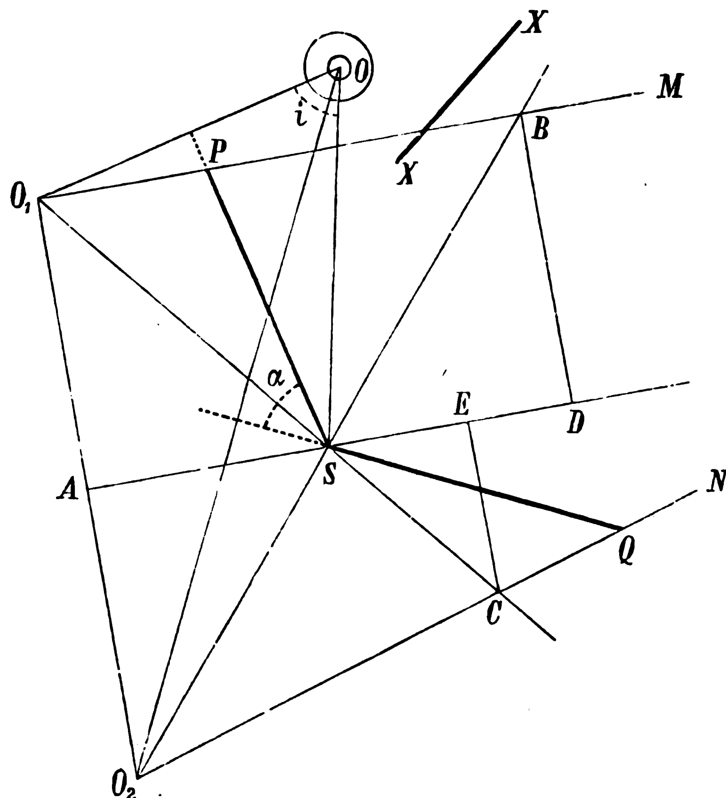


Fig. 6. — Interférence des ondes électro-magnétiques. Expérience des miroirs de Fresnel.

est possible de calculer *a priori* la position et la forme du champ commun aux deux faisceaux, ainsi que le nombre maximum de franges visibles, ce qui permet de disposer l'expérience de façon qu'il se forme dans ce champ commun des interférences nombreuses.

Dans mes expériences, on avait :

$$OS = 50, \text{cm.}, \; i = 65^\circ, \; \alpha = 50^\circ,$$
$$SD = 33 \text{cm.}, \; BD = 39{,}3 \text{cm.}, \text{ et } PSD = 105^\circ.$$

En déplaçant de D à B un résonnateur vertical de longueur d'onde $\lambda = 10{,}6$ cm., tenu simplement à la main, on le voyait étinceler vivement en D, s'éteindre ensuite à quelque distance, étinceler de nouveau un peu plus loin, puis s'éteindre encore quand on continuait à le déplacer. A partir du maximum D, on voyait ainsi, dans l'intervalle DB, quatre maxima où le résonnateur étincelait vivement, séparés par trois minima dans lesquels le résonnateur restait obscur. Si l'on n'avait à craindre l'influence réciproque des résonnateurs les uns sur les autres, on pourrait en disposer un grand nombre sur la ligne DB, et voir simultanément les maxima et les minima, c'est-à-dire les franges d'inter-

férence rendues visibles par les résonnateurs.

Une lame métallique XX convenablement placée, soustrait le résonnateur à l'action directe de l'oscillateur.

La figure 6 représente la disposition exacte des expériences à l'échelle de 1/10. Comme on voit, le miroir SQ limite suffisamment le champ commun aux deux faisceaux réfléchis puisque O_1 tombe à droite, au-dessus de SQ. Il en résulte que les radiations réfléchies par SP peuvent se réfléchir à nouveau sur SQ. Mais elles ne passent pas alors sur BD et, par conséquent, ne troublent pas les résultats de l'expérience.

En variant les dimensions des miroirs, leur angle et la position de l'oscillateur, on fait naturellement varier aussi le nombre, la position et la distance réciproque des franges d'interférence. Cependant, même avec une longueur d'onde de 10,6 cm., il est très difficile d'observer plus de 3 ou 4 franges d'interférence de chaque côté du plan de symétrie.

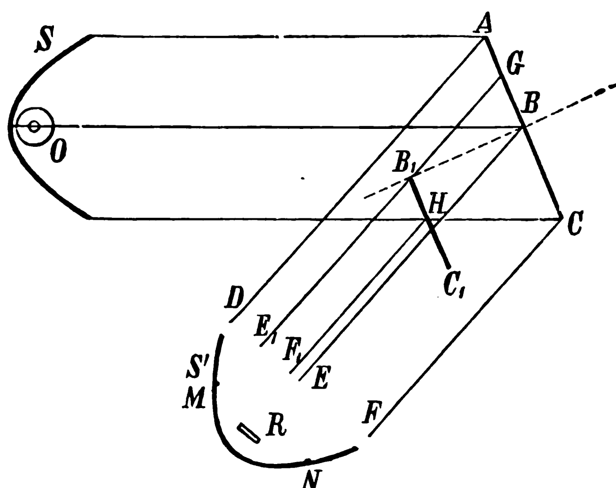


Fig. 7. — Interférence des ondes électro-magnétiques obtenue au moyen de deux miroirs parallèles.

14. *Autre disposition de l'expérience d'interférence avec deux miroirs.* — Si les deux miroirs de l'expérience de Fresnel sont ramenés à être dans le même plan, le champ commun aux deux faisceaux réfléchis s'annule. Mais si ces faisceaux sont reçus sur un miroir concave qui les concentre sur un résonnateur, on peut observer dans celui-ci des maxima d'intensité, en déplaçant un des miroirs parallèlement à lui-même. Cette disposition, si elle ne présente pas l'intérêt spécial d'imiter fidèlement un phénomène optique, — à moins qu'on ne la considère comme analogue à l'appareil interférentiel de Fizeau, — se prête cependant mieux qu'aucune autre à fournir de bonnes mesures des longueurs d'ondes. Elle a été suggérée par Boltzmann à Klemencic et Czermak [1] et elle a été mise en pratique par Zehnder [2].

Soient (fig. 7) O l'oscillateur muni de son miroir parabolique S ; AB et BC les deux miroirs plans. Les radiations se réfléchissent suivant AD, BE, CF vers le miroir S' du résonnateur R. Si un des miroirs est porté, par exemple, en B_1C_1, le faisceau réfléchi par ce miroir arrivera en R avec une phase différente de celle du faisceau réfléchi par AB et, si la différence de trajet entre les deux faisceaux devient égale à un multiple impair de $\frac{\lambda}{2}$, le résonnateur R cessera d'étinceler.

[1] *Wien Sitz. Ber.* CI abth. *a*, p. 936. *Lum. électr.*, t. L, p. 443 et 489.
[2] *Wied. Ann.*, 1893. XLIX, p. 549.

Les expérimentateurs cités plus haut, en appliquant cette disposition à la mesure des longueurs d'ondes, ne se sont pas préoccupés de deux circonstances qui peuvent altérer les résultats obtenus.

La première est qu'il n'est pas possible de réduire suffisamment, dans une certaine limite, l'angle d'incidence des deux miroirs, en raison de la place qu'occupent nécessairement les réflecteurs paraboliques de l'oscillateur et du résonnateur. Il est donc nécessaire de tenir compte de l'angle d'incidence pour calculer la différence du trajet des deux faisceaux qui interfèrent.

Si l'on représente par s le déplacement imprimé à l'un des miroirs, en direction perpendiculaire à son plan, et par i l'angle d'incidence, il est facile de voir que la différence du trajet Δ entre les deux faisceaux interférents est donnée par la formule

$$\Delta = 2s \cos i$$

L'angle i peut être calculé, par exemple, en mesurant les trois côtés du triangle OBR, dans lequel l'angle en B est égal à $2i$.

La seconde circonstance digne de remarque est la suivante. En raison du déplacement d'un des miroirs, le faisceau complexe réfléchi qui était primitivement ACDF, devient plus étroit, puisque seules les fractions AG, B_1 H des deux miroirs sont maintenant efficaces. Cela n'a pas d'inconvénient si, comme dans la figure 7, le miroir concave S' du résonnateur est suffisamment grand pour contenir, tant avant qu'après le déplacement de BC, le faisceau réfléchi entier et si, ce qui est plus difficile à admettre, ce réflecteur est de forme parfaite. Mais, en pratique, il arrive que, afin d'atténuer la diffraction, les miroirs plans doivent avoir une assez grande largeur, et le réflecteur du résonnateur une largeur MN moindre que celle du faisceau réfléchi par ceux-ci. Dans ce cas, si avant le déplacement de BC, le réflecteur MN reçoit deux faisceaux également réfléchis, après ce déplacement, il reçoit une portion beaucoup plus grande du faisceau réfléchi par BC que de celui qui est réfléchi par AB. Au lieu d'observer une extinction complète du résonnateur R, on n'aura que des minima d'étincelles qui tendront à disparaître.

Pour éliminer cette cause d'incertitude, j'ai modifié la disposition expérimentale de Boltzmann. Les deux miroirs AB et BC (fig. 8) reçoivent alors normalement les radiations réfléchies par le miroir parabolique S de l'oscillateur O. Ces radiations, avant de les atteindre, doivent traverser une lame de soufre DE, épaisse de 4 à 5 centimètres, inclinée à 45° ; après la réflexion sur les deux

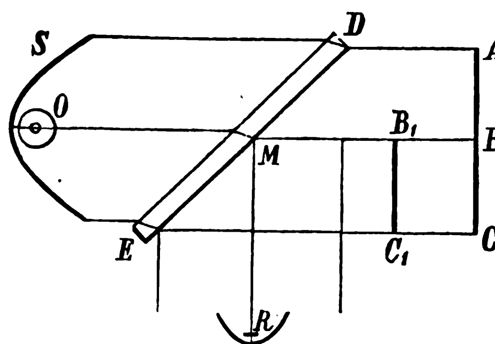


Fig. 8. — Autre disposition expérimentale pour obtenir des phénomènes d'interférence au moyen de deux miroirs parallèles.

miroirs plans, les mêmes radiations rencontrent à nouveau cette lame diélectrique qui les réfléchit en partie vers le résonnateur R. Bien qu'elles aient perdu une partie notable de leur intensité en raison de la présence de la lame de soufre qui ne les transmet et ne les réfléchit qu'en partie, ces radiations produisent cependant sur le résonnateur une action suffisamment intense pour qu'on puisse faire encore de bonnes mesures.

En déplaçant un des miroirs, BC, par exemple, jusqu'en B_1C_1, les étincelles disparaissent dans le résonnateur si BB_1 est un multiple impair de $\frac{\lambda}{4}$, puisque la différence de marche entre les deux faisceaux qui se concentrent sur le résonnateur est évidemment égale à $2BB_1$.

Avec les appareils II, j'ai pu observer de

semblables maxima et minima alternatifs en déplaçant BC vers M. Les quatre premiers minima sont très nets; le cinquième l'est moins, et le sixième encore moins. Le septième est incertain.

Cela démontre que chaque décharge oscillante des deux sphères de l'oscillateur a une durée telle qu'elle contient au moins six oscillations complètes avec la période propre au résonnateur. (Voir le § 5.)

15. *Mesure de la longueur d'onde et des indices de réfraction.* — Soit avec la disposition représentée en figure 8, soit avec celle que représente la figure 7, — en tenant compte, dans ce dernier cas, de l'incidence i au moyen de la formule $\Delta = 2s \cos i$ —, j'ai mesuré la longueur d'onde propre à mes résonnateurs. En répétant plusieurs fois les mesures, on trouve entre les valeurs numériques des différences un peu moindres que celles qui s'observent en mesurant la longueur d'onde par la méthode ordinaire.

En plaçant une lame diélectrique à faces parallèles sur un des deux miroirs plans, et en déplaçant l'autre miroir, on peut évaluer l'espace d'air équivalent quant à l'effet produit par la lame, et trouver ainsi l'indice de réfraction qui correspond à la substance employée. En répétant les mesures avec une même lame, j'ai constaté qu'on obtient ainsi des nombres moins différents entre eux que ceux qu'on obtient en faisant plusieurs mesures au moyen d'un prisme. Cette méthode d'interférence est donc très satisfaisante pour la mesure des indices de réfraction.

Il peut naître quelques incertitudes dans la mesure, par ce fait qu'un déplacement ultérieur du miroir mobile égal à $\frac{\lambda}{2}$ n'altère pas les conditions théoriques d'interférence des deux faisceaux qui atteignent le résonnateur; mais, en pratique, on peut reconnaître si les deux voies parcourues par les faisceaux interférents sont équivalentes, par la plus grande vivacité qu'ont alors les étincelles du résonnateur; d'autre part, toute incertitude disparaît si l'on a fait auparavant une détermination approximative de l'indice de réfraction au moyen du prisme.

J'ai employé la méthode d'interférence que je viens de décrire pour la mesure des indices de réfraction de la paraffine et du soufre. Pour compenser l'effet d'une lame de paraffine épaisse de 4,2 cm., placée sur un des miroirs, il fallait éloigner l'autre miroir de 1,8 cm. Il en résulte que 4,2 cm. de paraffine équivalent à $4{,}2 + 1{,}8 = 6$ cm. d'air. La longueur d'onde λ_1 dans la paraffine sera donc $\lambda_1 = \frac{4{,}2}{6}\lambda$, λ étant celle de l'air, et l'indice de réfraction $n = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{4{,}2}{6} = 1{,}43$. On trouve de même pour le soufre $n = 1{,}87$ (1).

16. *Interférence avec un seul miroir.* — L'expérience de Hertz, au moyen de laquelle on obtient des ventres et des nœuds fixes, correspond à ce titre, et est l'analogue de l'expérience optique de Wiener. Celle que je décris ici est, au contraire, l'analogue de l'expérience par laquelle Fresnel obtint des franges d'interférence, en faisant réfléchir une partie des radiations émanées d'une source lumineuse linéaire sur un miroir parallèle à cette source et sous une incidence très grande, afin de faire interférer cette lumière réfléchie avec la lumière provenant directement de la source même. L'expérience de Hertz est un cas particulier de celle de Fresnel; elle correspond à une incidence nulle.

La figure 9 représente la disposition expérimentale. En O est placé un oscillateur II, sans miroir parabolique, et en SS' une lame de cuivre verticale large de 306 cm. et haute de 44 cm. Le résonnateur vertical R, privé aussi de son réflecteur parabolique mais muni d'une lame de cuivre amplificatrice (§ 10), peut être déplacé le long d'une règle BR perpendiculaire au miroir, et reçoit à la fois les radiations

(1) La moyenne des valeurs trouvées par Schrauf (*Wien. Ak. Ber.*, 41, p. 769) pour l'indice de réfraction du soufre relativement à la raie B de Fraunhœfer, est 2,06. La valeur que j'ai trouvée est moindre, comme on pouvait le prévoir.

qui proviennent directement de O, et celles qui, réfléchies par SS', proviennent virtuellement d'un point O' symétrique à O par rapport à SS'.

Si l'on mesure la distance OA = *a*, entre le miroir et l'oscillateur, la distance AB = *b* entre celui-ci et la règle BR, et la distance BR = *c* entre le résonnateur et le miroir, la

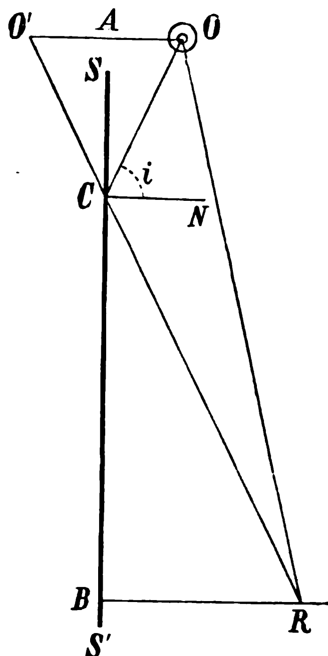


Fig. 9. — Interférence des ondes électro-magnétiques avec un seul miroir.

différence de marche Δ des ondes qui interfèrent en R sera donnée par la formule

$$\Delta = \sqrt{b^2 + (a + c)^2} - \sqrt{b^2 + (c - a)^2}$$

d'où l'on tire

$$c = \frac{\Delta}{2}\sqrt{\frac{4a^2 + 4b^2 - \Delta^2}{4a^2 - \Delta^2}}$$

On peut donc calculer la position du résonnateur qui correspond à une différence de marche Δ égale à 0, à $\frac{\lambda}{2}$, à λ, à $3\frac{\lambda}{2}$, etc.; λ ayant, dans le cas actuel, une valeur de 10,6 cm.

Comme dans l'expérience optique de Fresnel, on trouve les minima aux points pour lesquels Δ est égal à un nombre entier de longueurs d'onde, et les maxima aux points pour lesquels Δ est égal à un nombre impair de demi-longueurs d'onde. Donc, aussi pour les ondes électriques, la variation de phase d'une demi-onde dans la réfléxion se vérifie, ce qui, du reste, résulte aussi de l'expérience de Hertz. En d'autres termes, les franges d'interférence dont le milieu est en B, sont des franges à centre noir. Près de B, le résonnateur ne donne pas d'étincelles, tandis qu'il donne un premier maximum en un point pour lequel la distance de O en O' est égale à une demi-longueur d'onde.

Dans l'expérience que j'ai faite, les maxima et les minima se rencontraient à peu près exactement aux distances calculées. Ainsi, par exemple, avec *a* = 42,4 cm., *b* = 300 cm., on avait le premier maximum pour *c* = 19 cm. environ, le second minimum pour *c* = 38 cm. et ainsi de suite.

Dans l'expérience optique de Fresnel, l'angle d'incidence des radiations sur le miroir est nécessairement un peu moindre que 90 degrés, et par conséquent, certainement plus grand que l'incidence principale. C'est pourquoi l'expérience donne toujours les mêmes résultats, soit que l'on adopte la lumière naturelle, soit que l'on adopte la lumière polarisée dans un azimuth quelconque. S'il était possible de voir encore des franges d'interférence distinctes avec un angle d'incidence plus petit que l'incidence de polarisation, le phénomène changerait. En fait, on devrait obtenir, dans ce cas, des franges à centre noir avec la lumière polarisée dans le plan d'incidence, et des franges complémentaires aux précédentes, c'est-à-dire à centre lumineux, avec la lumière polarisée perpendiculairement au plan d'incidence.

Cette expérience peut être effectuée avec les radiations électriques, et l'on trouve alors précisément les résultats prévus.

Il suffit, pour cela, de disposer horizontalement l'oscillateur O et le résonnateur R. On trouve alors que, dans le voisinage de B, le résonnateur donne de vives étincelles; il présente un minimum à une certaine distance du

miroir, puis un second maximum plus loin et ainsi de suite. Les maxima et les minima occupent à peu près, mais non exactement, comme on le verra, les places respectives des minima et des maxima qui s'observent avec les oscillations verticales.

Pour les dimensions des appareils et les distances relativement petites auxquelles ceux-ci doivent être placés afin d'obtenir des effets visibles, l'angle d'incidence i des radiations réfléchies qui parviennent au résonnateur est presque toujours moindre que l'incidence principale. Cet angle i peut être calculé au moyen de la formule

$$\operatorname{tg} i = \frac{b}{a+c};$$

on peut ainsi vérifier que, sauf dans quelques cas, pour des points très voisins de B, l'angle i est toujours moindre que 81 degrés, valeur approximative trouvée plus loin pour l'incidence principale relativement au cuivre.

Il est nécessaire de bien remarquer l'opposition d'effets qu'on a près de B, suivant que les vibrations de l'oscillateur sont verticales ou horizontales. Dans le premier cas, près de B, les vibrations s'annulent, et dans le second, elles s'ajoutent. On verra plus loin comment ce phénomène d'interférence peut induire en erreur lorsqu'on étudie la réflexion des ondes électriques sur les métaux.

Une autre expérience singulière, décrite par Hagenbach et Zehnder [1], et qui semble constituer une objection à la théorie de Maxwell, peut maintenant être expliquée. D'après cette expérience, une lame métallique placée entre l'oscillateur et le résonnateur munis de leurs miroirs paraboliques et placés l'un en face de l'autre, éteint l'étincelle du résonnateur, non seulement lorsque cette lame est placée perpendiculairement aux radiations, mais encore si elle est placée dans une direction parallèle en même temps aux radiations et à l'oscillateur. Cette extinction a lieu évidemment en raison de l'interférence entre les radiations qui frappent directement le résonnateur et celles qui l'atteignent après avoir été réfléchies sur la lame métallique. A première vue, il peut sembler que cette réflexion ne peut se produire, puisque les radiations sont parallèles à la lame; mais on ne peut rigoureusement les considérer comme telles, soit en raison de la diffraction, soit en raison de la forme imparfaite du miroir parabolique de l'oscillateur.

On peut donc prévoir que, dans l'expérience de Hagenbach et Zehnder, le résultat serait différent si la lame métallique, tout en restant parallèle aux radiations, était placée perpendiculairement à l'oscillateur. En fait, dans ce cas, les radiations réfléchies s'ajouteraient aux radiations directes, et le résonnateur donnerait de vives étincelles.

Avec les valeurs numériques adoptées pour b_1, c'est-à-dire $b = 300$ cm., il est nécessaire de faire usage des résonnateurs extrêmement sensibles, afin que l'expérience soit possible. Mais il suffit de munir l'excitateur de son réflecteur parabolique pour avoir des effets très notables, même avec des résonnateurs médiocres. Soit en raison de l'imperfection inévitable dans la forme des réflecteurs paraboliques, soit par-dessus tout, en raison de la diffraction, il arrive que les radiations émises ne constituent pas un faisceau rigoureusement parallèle, et qu'elles peuvent être en partie réfléchies sur la lame SS' et, après cette réflexion, atteindre le résonnateur.

Nous avons dit que les maxima et les minima observés avec les oscillations horizontales n'occupent pas exactement l'emplacement des minima et des maxima observés avec les oscillations verticales : Cette différence est due à ce que, suivant les positions occupées par le résonnateur sur la règle BR, l'angle i prend des valeurs différentes, et que le retard produit par la réflexion sur les vibrations parallèles au plan d'incidence est différent aussi. Ce retard croît de o à $\frac{\lambda}{2}$ lorsque i croît de o° à 90°; il passe par la valeur $\frac{\lambda}{2}$ lorsque i est

[1] Hagenbach et Zehnder. *Wied. Ann.*, t. XVIII, p. 610. *Lum. élect.*, t. XLI, p. 519.

sensiblement égal à l'incidence principale.

Cette non-coïncidence révélée expérimentalement est donc une preuve que la différence de phase qui s'établit par réflexion entre les vibrations parallèles et perpendiculaires au plan d'incidence, est différente aux diverses incidences.

17. *Expérience du biprisme.* — Pour réaliser avec les vibrations électriques une expérience analogue à l'expérience optique du biprisme, on rencontre des difficultés analogues à celles que nous avons rappelées à propos des

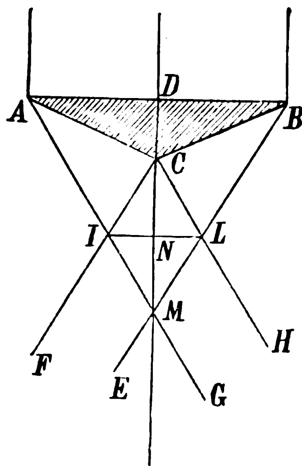


Fig. 10. — Interférence des ondes électro-magnétiques. Expérience du biprisme.

miroirs de Fresnel. Sans insister sur les calculs qui m'ont guidé dans cette occurrence, je décrirai le biprisme que j'ai construit et les expériences qu'il m'a permis de réaliser.

Le biprisme est un bloc de soufre obtenu par fusion ayant la forme d'un prisme à base triangulaire ABC (fig. 10) (¹). Le plus grand côté AB du triangle ABC, qui est isocèle, est long de 0,70 m., tandis que les angles en A et B valent 27°. La hauteur CD a donc environ 13,83 cm.; le biprisme a 27 cm. de longueur.

Le faisceau de radiations que l'excitateur II muni de son miroir parabolique émet sur le biprisme, se réfracte à travers celui-ci et se divise en deux faisceaux FCBE et GACH qui ont une région commune ICLM dont la base a naturellement la forme d'un losange. Les demi-diagonales NL et NC du losange ont pour longueurs respectives 12,1 cm. et 20,1 cm. environ, si l'on prend $n = 1,87$ comme indice de réfraction du soufre pour les radiations électriques.

On place successivement le résonnateur sans miroir dans les différents points de IL, pour rendre visibles les franges d'interférence. On doit observer et, en effet, on observe en N un maximum d'effet; à une certaine distance de part et d'autre de N, le résonnateur s'éteint. Plus loin encore, on obtient un nouveau maximum.

Lorsque le résonnateur est dans la position de minimum, c'est-à-dire quand il ne donne pas d'étincelles, si l'on couvre, au moyen d'une lame métallique, la moitié AD ou la moitié BD de la grande face du prisme, les étincelles apparaissent à nouveau chaque fois que la lame intercepte un des faisceaux interférents. Cette expérience, au dire de toutes les personnes à qui je l'ai montrée, est très persuasive.

CHAPITRE II

INTERFÉRENCES AVEC DES LAMES MINCES

18. *Expériences antérieures.* — Des phénomènes analogues aux effets optiques des lames minces n'ont pu encore être produits d'une façon nette et décisive avec les ondes électriques. Cependant, Trouton (¹) observa que, tandis qu'une lame de paraffine de 2 cm. d'épaisseur ne réfléchit pas sensiblement des radiations électriques dont la longueur d'onde est de 66 cm., une lame épaisse de 13 cm. produisait une réflexion notable. D'après cet auteur, en prenant pour l'indice de réfraction de la paraffine employée la valeur $n = 1,51$, les radiations réfléchies à l'intérieur de la seconde lame, sur la seconde face de la lame,

(¹) Cette figure représente la disposition de mes expériences à l'échelle 1/20.

(¹) TROUTON, *Nature*, t. XL, p. 389, 1892.

sous l'incidence de 55° à laquelle il opérait, subissaient un retard d'une moitié d'onde par rapport aux radiations réfléchies sur la première face ; donc, en tenant compte de la variation de phase d'une demi-onde qui se produit dans une des réflexions, il s'établit un accord parfait de phase entre les deux radiations réfléchies.

Avec la lame de 2 cm., il devait se produire une interférence partielle et, par conséquent, un phénomène analogue à celui de la tache noire au centre des anneaux de Newton.

En admettant cette hypothèse, une lame de 26 cm. n'aurait pas dû donner de réflexion sensible; l'expérience prouva le contraire.

Trouton pensa alors que la valeur 1,51 de l'indice, qui n'était autre que la racine de la valeur admise pour la constante diélectrique de cette substance, n'était pas exacte; il fit une expérience directe qui lui donna une autre valeur $n = 1,8$. Des lames de paraffine dont l'épaisseur était calculée en fonction de cette valeur, ne donnèrent pourtant pas les effets qu'on en attendait.

Je n'ai pas connaissance que d'autres savants aient pu réaliser les phénomènes des lames minces avec les radiations de Hertz. Avec les appareils que j'ai décrits précédemment, ces phénomènes peuvent être facilement mis en évidence ; la plus complète analogie entre les phénomènes optiques et ceux qui provoquent les ondes électromagnétiques est ainsi confirmée.

19. *Épaisseur des lames.* — J'ai construit des lames de paraffine et des lames de soufre d'épaisseur telle que, sous un angle d'incidence de 45 degrés, il se produise une différence de marche égale à $\frac{\lambda}{2}$ ou à λ entre les rayons réfléchis par leurs deux faces. Cette différence de marche Δ est donnée par la formule

$$\Delta = 2a\sqrt{n^2 - \sin^2 i},$$

où a est l'épaisseur de la lame,

n l'indice de réfraction de la substance employée,

i l'angle d'incidence qui, dans mes expériences, était de 45 degrés.

J'adoptais les appareils II pour lesquels $\lambda = 10,6$ cm., et je calculais les valeurs de a qui donnaient $\Delta = 5,3$ cm. et $\Delta = 10,6$ cm., en prenant pour valeurs respectives des indices de réfraction de la paraffine et du soufre les valeurs 1,43 et 1,87 déterminées directement (§§ 15 et 35).

Je trouvai ainsi qu'une lame capable de produire une différence de marche d'une demi-onde devait avoir une épaisseur d'environ 2,1 cm. pour la paraffine et de 1,5 cm. pour le soufre.

Les lames capables de produire une différence de trajet égale à λ doivent, naturellement, avoir une épaisseur double, c'est-à-dire de 4,2 cm. pour la paraffine, et de 3 cm. pour le soufre. Les lames que j'ai employées sont rectangulaires ; elles ont 50 cm. de longueur et 25 cm. de largeur; je les désignerai respectivement par les lettres P_1, S_1 et P_2, S_2.

La différence de marche entre les rayons transmis directement par une lame et ceux qui proviennent de deux réflexions internes ont la même valeur Δ. Dans les expériences optiques, en raison du changement de signes admis par Young quand la réflexion a lieu sur la surface d'un corps plus réfringent que celui dans lequel se meut le rayon incident, les maxima et minima d'intensité de la lumière réfléchie ont lieu avec les minima et les maxima de la lumière transmise; de même, les lames P_1 et S_1 doivent donner la réflexion maxima et la transmission minima, tandis que les lames P_2, S_2 doivent donner une réflexion nulle et la transmission maxima. Les expériences suivantes confirment pleinement les prévisions de la théorie.

20. *Expériences d'interférence avec les lames minces.* — Pour ces expériences, comme celles qui sont destinées à l'étude de la réflexion et de la réfraction qui seront décrites plus loin, il est commode d'employer des supports tels que celui qui est représenté sur la figure 3, entre l'oscillateur et le résonna-

teur. Ce support est formé d'une tablette PQ qui peut être fixée sur la barre MN, et sur lequel sont montées trois colonnettes qui soutiennent un disque de bois R sur lequel en est placé un second S, mobile autour de l'axe de figure communes aux deux disques. Le pourtour du disque supérieur S est gradué, et, de cette façon, on peut incliner d'un angle connu le corps placé sur le disque S (qui, dans le cas actuel, peut être une lame de paraffine ou de soufre), sur la direction des radiations qui émanent de l'oscillateur. Enfin, un long bras TU, mobile autour d'un axe vertical qui est sur le prolongement de l'axe du disque S, porte le résonnateur. Ce bras peut tourner, à partir d'une direction parallèle aux radiations jusqu'à une direction perpendiculaire. Une graduation de o degré à 90 degrés, tracée sur la tablette PQ, permet de connaître son inclinaison.

Pour les expériences actuelles, le bras mobile TU est placé à o degré quand on veut recevoir les radiations transmises par la lame, et à 90 degrés quand on veut recevoir dans le résonnateur les radiations réfléchies. La lame est placée verticalement sur le disque S, avec son plus grand côté horizontal, et avec son plan à 45 degrés avec les radiations incidentes.

a. Lames minces par réflexion. — La radiation réfléchie par les lames P_1 et S_1 est assez intense, tandis que les lames P_2 et S_2 ne provoquent que de très faibles étincelles dans les résonnateurs, et quand ceux-ci sont extrêmement sensibles. Des lames de paraffine ou de soufre légèrement plus minces que P_1 ou S_1 ne donnent presque aucune réflexion; ce phénomène correspond à celui de la tache noire en optique. Cependant, j'ai reconnu qu'une lame de cristal à miroir, de 6 ou 7 mm. d'épaisseur, produit une réflexion assez notable, de même qu'une lame de verre épaisse de moins de 0,2 cm.; c'est à cela certainement qu'il faut rattacher les autres singularités présentées par ce corps (§§ 34 et 40).

Enfin, si, tandis qu'une des lames P_2 ou S_2 est en place, on met derrière elle une des lames P_1 ou S_1, on obtient le même résultat que donnerait une lame entière d'épaisseur égale à la somme des deux épaisseurs. Une telle lame, épaisse de 6,3 cm. dans le cas de la paraffine et de 4,5 cm. dans le cas du soufre, réfléchit abondamment les radiations, comme le font les lames P_1 ou S_1 seules. Dans le cas des lames $P_1 + P_2$ ou $S_1 + S_2$, l'épaisseur totale est telle que le retard des rayons réfléchis sur la seconde surface, relativement à ceux qui le sont sur la première, est d'une onde et demie. On voit ainsi que, en tenant compte du changement de signe à la première réflexion, les deux rayons réfléchis ont des phases concordantes.

Une particularité intéressante résulte de cette expérience, à savoir que, tandis que la lame S_2, par exemple, est en place, si on place derrière elle la lame S_1 et si on l'approche peu à peu, les étincelles dans le résonnateur commencent bien avant que les deux lames arrivent à se toucher, et augmentent peu à peu d'intensité au fur et à mesure qu'on diminue la distance entre les deux lames. Quand elles sont suffisamment voisines, elles se comportent donc comme si elles ne formaient qu'une lame unique continue.

Une observation analogue sera faite plus loin (§ 37), à propos des expériences faites avec un prisme à réflexion totale.

b. Lames minces pour transmission. — En recevant dans les résonnateurs les radiations transmises, on peut vérifier un parallélisme parfait avec les phénomènes optiques correspondants. En fait, avec les lames P_1, S_1, on a dans le résonnateur des étincelles beaucoup plus faibles qu'avec les lames P_2, S_2. Ainsi, l'intensité des radiations reçues dans le résonnateur, intensité mesurée par la méthode *b* du § 9, c'est-à-dire par l'angle dont on doit faire tourner le résonnateur autour de son axe afin d'éteindre ses étincelles, reste sensiblement la même en supprimant les lames P_2 ou S_2.

Avec l'une des lames P_1 ou S_1, l'intensité des radiations qui parviennent au résonnateur

est sensiblement moindre que si l'on supprime la lame, ce phénomène est particulièrement net dans le cas de la lame de soufre.

Dans le phénomène optique correspondant, l'amplitude des radiations transmises est réduite dans le rapport $\frac{2n}{1+n^2}$ par une lame d'indice n et d'épaisseur suffisante pour produire un retard $\frac{\lambda}{2}$.

Pour la paraffine, la réduction d'intensité serait de 1 à 0,94, et pour le soufre, de 1 à 0,83. Ces chiffres concordent suffisamment bien avec ceux qu'on déduit de l'expérience. J'ai trouvé que, pour éteindre les étincelles dans le résonnateur sans lame interposée il faut une rotation de 40 degrés, tandis qu'une rotation de 27 degrés est nécessaire lorsqu'on substitue à sa place la lame S_1. Le rapport $\frac{\cos 40^\circ}{\cos 27^\circ}$, qui est celui de l'amplitude dans les deux cas, est égal à 0,85, nombre peu différent de la valeur théorique 0,83.

c. Lames minces entre des milieux différents. — On sait que quand une lame mince est comprise entre deux milieux transparents tels que l'un a un indice moindre et l'autre un indice supérieur à l'indice de la lame, le phénomène optique est interverti. On observe, par exemple, des anneaux de réflexion à centre blanc au lieu d'anneaux à centre noir. Une lame de paraffine placée entre l'air et le soufre doit donner et donne, en effet, un résultat inverse à celui qu'on obtient quand elle est complètement environnée d'air.

Ainsi, tandis qu'on reçoit dans le résonnateur les radiations réfléchies par la lame P_1, si on place derrière elle une lame de soufre, les étincelles dans le résonnateur, qui étaient d'abord très vives, diminuent considérablement ou disparaissent.

Au contraire, si, après avoir constaté la réflexion minima ou nulle que produit la lame P_2, on place derrière celle-ci une lame de soufre, on voit apparaître immédiatement des étincelles assez vives dans le résonnateur.

On peut faire avec les lames minces, d'autres expériences qui réussissent toujours conformément à ce que faisait prévoir l'analogie optique, mais celles que j'ai décrites me semblent suffisantes.

(*A suivre.*)

A. Righi,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

L'EMPLOI
DE DEUX OU DE PLUSIEURS MOTEURS
SUR
LES LOCOMOTIVES OU VOITURES ÉLECTRIQUES

On installe souvent, sur les voitures de tramways et sur les locomotives électriques, deux ou même plusieurs moteurs.

Cette disposition est motivée par certaines considérations pratiques ; elle présente, par contre, des inconvénients sérieux.

Indépendamment de la question du rendement, qui est diminué dans une très forte proportion, d'autres considérations plaident contre l'emploi simultané de plusieurs moteurs sur une même voiture, ou même sur un même train ; les conclusions qui résultent de ces considérations sont de nature à condamner cette disposition dans des cas beaucoup plus nombreux qu'il ne semblerait à première vue, et dans certains cas à la condamner d'une façon absolue.

Dans tous les cas, chaque moteur actionne soit un essieu, soit une paire d'essieux.

Pour fixer les idées, prenons le cas d'une voiture reposant sur trois ou quatre essieux dont deux sont commandés chacun par un moteur. Les moteurs éprouveront, pour faire avancer la voiture automotrice ou le remorqueur, des résistances au roulement, que nous désignerons respectivement par R_1 et R_2 pour le premier et le deuxième moteurs ; R_1 et R_2 désignent ainsi les résistances totales offertes aux moteurs pour le roulement, ces résistances étant rapportées aux circonférences des armatures des deux moteurs.

Désignons de même par Q_1 et Q_2 les résistances de *glissement* totales offertes aux deux moteurs et rapportées aux circonférences des armatures du premier et du second moteurs, c'est-à-dire l'adhérence.

Les résistances Q_1 et Q_2 *peuvent* être égales, mais ce n'est pas toujours le cas. Souvent il y a même des différences très grandes et ces résistances sont très variables l'une par rapport à l'autre. Non seulement, elles sont variables d'après la répartition des charges, mais cette répartition des charges elle-même varie, d'après la position que la voiture occupe momentanément sur la voie, suivant qu'elle se trouve sur une partie en palier, en rampe ou en pente de son profil.

Pour se rendre compte de leur importance, il suffit de considérer la répartition des charges sur les essieux d'une voiture ou de la locomotive supposée soit sur une partie déclive de la voie, et soit sur une partie en palier ou en rampe de cette voie.

Ces résistances varient encore d'après l'état des rails, des organes de transmission, des ressorts, et d'après la position que la voiture occupe momentanément sur le profil en plan.

L'égalité absolue des résistances Q_1 et Q_2 n'existe donc pratiquement jamais, et les différences entre ces résistances sont quelquefois très grandes.

Les deux moteurs peuvent être couplés en série ou en parallèle, quel que soit, du reste, le mode d'excitation du champ magnétique. Examinons successivement ces deux cas et deux autres qui s'y rattachent.

A. Les deux moteurs sont couplés en série.

L'effort exercé à la circonférence de l'armature d'un moteur $= K\,i\,H$, où

$K =$ une constante dépendant du moteur,
$i =$ l'intensité du courant,
$H =$ l'intensité du champ magnétique.

Il est évident que les deux moteurs et leurs transmissions, doivent être identiques, en raison de considérations diverses, pratiques et théoriques.

Comme les deux moteurs sont en série, l'intensité i du courant est la même pour les deux moteurs. Quant aux deux facteurs, K et H, ils sont les mêmes pour les deux moteurs, ceux-ci étant identiques.

Les efforts déterminés par les deux moteurs à la circonférence de leurs armatures, et par conséquent sur leurs transmissions (identiques aussi), sont donc forcément égaux.

Si tout est parfait, si les moteurs et les transmissions sont absolument identiques, si les résistances à vaincre par chaque moteur sont également identiques, il n'y a pas de difficulté ; l'intensité du courant prendra une valeur normale, avec une vitesse uniforme (du moins momentanément), lorsque l'intensité du courant répondra à la relation suivante :

$$K\,i\,H = R_1 = R_2$$

Mais les résistances de roulement rapportées aux deux moteurs sont variables et presque toujours différentes, dans une mesure plus ou moins grande.

Admettons que l'on ait $R_1 < R_2$

L'effort déterminé KiH, exercé par chacun des deux moteurs, sera donc trop grand pour la résistance R_1 que rencontre le premier moteur, et trop petit pour la résistance R_2 que rencontre le second moteur. Le premier tendra à accélérer sa vitesse, le second à la diminuer. Mais ceci est impossible, les deux moteurs étant nécessairement astreints à avoir en tout moment les mêmes vitesses angulaires. Il arrivera alors, en raison de l'égalité entre l'action et la réaction, que les résistances offertes aux deux moteurs s'équilibreront avec les efforts exercés par ceux-ci, et prendront les valeurs

$$R'_1 = R'_2 = \frac{R_1 + R_2}{2} = KiH.$$

Mais si la résistance au roulement R_1 est $> R_2$ les causes qui ont déterminé cette inégalité, ont pour effet d'autre part de rendre la résistance au glissement du premier moteur, Q_1 est $<$ que la résistance au glissement du second moteur Q_2. Ces causes gisent en effet dans la répartition des pressions, des charges

moins grandes sur le premier essieu que sur le second, ou dans des résistances de frottement moins fortes opposées au premier moteur qu'au second, ces frottements différents pouvant dépendre de l'état de la voie qui peut varier d'un point à un autre, lorsque cette voie n'est pas très bien soignée, et aussi de l'état des organes de transmission des deux moteurs. Or, ces mêmes causes diminuent les résistances au glissement Q_1 notamment au patinage sur le rail, opposées au premier moteur, relativement aux résistances au glissement Q_2 opposées au second moteur.

Dans ces conditions, il peut arriver que Q_1 soit $< R'_1$ c'est-à-dire :

$$< \frac{R_1 + R_2}{2} \text{ et } < KHi.$$

Dans ce cas, c'est la plus faible des résistances, c'est-à-dire Q_1 qui sera vaincue ; le premier moteur glissera, en ce sens que ses organes glisseront les uns sur les autres s'ils s'y prêtent ou les roues glisseront sur le rail, c'est-à-dire patineront.

Il faut bien, en effet, observer la façon d'agir du moteur électrique.

Pour faire rouler la voiture, il n'y a donc, en ce moment, que l'effort KHi, agissant sur le second moteur, effort insuffisant pour vaincre la résistance $R_1 + R_2$, ainsi que nous l'avons déterminé.

D'autre part, le premier moteur tourne en vainquant seulement la résistance Q_1 qui est $< R_1$; mais en ce moment il exerce encore l'effort $KHi = R_1$, c'est-à-dire un effort plus grand que la résistance. Il accélérera donc son mouvement, la force contre-électromotrice augmentera, l'intensité i diminuera, jusqu'au moment où $KHi' = Q_1$.

Le même effort sera exercé à tout instant par le second moteur, pour lequel il aura diminué également ; celui-ci rencontrant une résistance Q_2 plus grande, s'arrêtera après que sa force d'inertie et celle de la masse, faiblement aidée par l'effort KHi, aura été épuisée.

A ce moment, dans le second moteur, au repos, le courant circulera comme dans une résistance inerte, y déterminant simplement un effort KHi', insuffisant pour vaincre les résistances.

Le premier moteur absorbera tout seul la force électromotrice complète $E - (R + 2r)\, i'$, tournant avec une vitesse d'autant plus grande, épuisant son énergie $\left\{ E - i' (R + 2r \right\} i'$ en travaux de glissement des organes de transmission les uns sur les autres, ou de glissement sur les rails, c'est-à-dire de patinage.

Dans ces expressions :

$E =$ la force électromotrice totale disponible aux bornes extrêmes des deux moteurs.

$r =$ la résistance électrique de chacun des moteurs.

$R =$ la résistance électrique extérieure aux moteurs, entre les deux bornes susdites.

Si les deux essieux attaqués par les moteurs ne sont pas solidaires, — ce qui est généralement impossible par les conditions de tracé, etc., — la répartition du poids est absolument dépendante des niveaux qu'occupent les essieux. — En un moment donné, l'un des deux essieux moteurs peut se trouver surbaissé ; et quelque faible que soit ce surbaissement, il déterminera une diminution très considérable dans la pression qui pèsera sur l'essieu. Alors, pour peu que l'effort de glissement ait été calculé juste par rapport à l'effort total de roulement du train entier, cet effort de glissement Q_1 descendra très facilement en dessous de la valeur $\frac{2}{R_1 + R_2}$ et dès lors, le patinage est impossible à éviter.

J'ai eu l'occasion de constater ce fait sur une locomotive de ce genre. Le patinage d'une paire de roues se produisait toujours à peu près aux mêmes endroits, — ce qui est du reste une conséquence logique de ce qui précède, — alors qu'à première vue l'équipement de la locomotive avait une puissance bien suffisante pour entraîner son train.

On comprend que la condition du patinage $\left(Q_1 \text{ ou } Q_2 < \frac{R_1 + R_2}{2}\right)$ peut se produire mo-

mentanément; le train continuera, par son inertie, sur une certaine distance pendant laquelle l'une des paires de roues motrices glissera en même temps qu'elle roulera, donc glissera partiellement.

Mais, la locomotive, ayant avancé d'une certaine distance, la condition du patinage $Q_1 < \frac{R_1 + R_2}{2}$ peut avoir cessé d'exister, et dans ce cas, le train continuera sa marche.

Cet état de choses peut se répéter plus ou moins fréquemment.

Dans ces conditions, il y a des glissements et patinages partiels, plus ou moins importants, absorbant inutilement certaines quantités d'énergie, dont le total peut prendre une importance considérable.

Nous disions plus haut que l'emploi de deux ou plusieurs moteurs, au lieu d'un seul, diminue considérablement le rendement. En effet, *à priori*, deux ou trois moteurs de la force de N chevaux, donnent un rendement moindre qu'un moteur de 2N ou de 3N chevaux. De plus, la multiplication des organes augmente les pertes par frottements. Ces causes existent bien, mais elles ne suffisent pas à expliquer, à elles seules, les différences extraordinaires qui ont été relevées par un certain nombre d'expérimentateurs, d'après lesquels l'emploi de deux moteurs de N chevaux au lieu d'un moteur de 2N chevaux, diminuait le rendement dans des proportions qui vont jusqu'à 60 p. 100 et plus. Ces pertes si considérables ne seraient pas explicables autrement que par les glissements et les patinages partiels, se répétant fréquemment, sans qu'on s'en aperçoive directement, et dont nous avons expliqué la production.

(On aura observé que les conditions de fonctionnement du moteur électrique diffèrent considérablement de celles des autres moteurs, et il est nécessaire d'en tenir compte dans les constructions, ainsi qu'on vient de le voir.)

Je pourrais ajouter aux conclusions précédentes, une circonstance aggravante. — J'ai supposé implicitement que les deux moteurs avaient un champ magnétique identique. Si les champs magnétiques des deux moteurs sont excités en série, ou s'ils sont excités par un même courant dérivé, ou par des courants dérivés, pris aux mêmes points du circuit et circulant dans des bobines excitatrices identiques, l'hypothèse est exacte. Mais si chaque moteur est individuellement excité — partiellement ou totalement — par une dérivation, prise à ses propres bornes, ce courant dérivé est proportionnel à la chute de potentiel entre les deux bornes. Dans ce cas, ce courant, et par conséquent l'intensité du champ magnétique augmentent proportionnellement ou à peu près — selon l'état de saturation magnétique; — avec la vitesse, pour le premier moteur, et diminuent pour le second. Or, l'effort exercé est proportionnel à $K H i$; l'effort augmente donc pour le moteur qui a la tendance à patiner, et diminue pour l'autre qui devrait au contraire assurer le roulement.

B. *Les deux moteurs peuvent être disposés en parallèle.* — Dans ces conditions, leur fonctionnement est plus indépendant l'un de l'autre.

Pour vaincre la résistance R_1, le courant du premier moteur prendra une intensité telle que $K H_1 i_1 = R_1$ tandis que le second moteur, pour vaincre la résistance R_2, prendra une intensité donnée par $K H_2 i_2 = R_2$.

Mais dans ces conditions les vitesses seraient respectivement, pour le premier moteur :

$$n_1 = \alpha \frac{\varepsilon_1}{H_1} = \alpha \frac{E - r_1 i_1}{H_1}$$

et pour le second moteur :

$$n_2 = \alpha \frac{\varepsilon_2}{H_2} = \alpha \frac{E - r_2 i_2}{H_2}$$

où :

E = la force électromotrice totale disponible aux bornes des moteurs.

ε_1 = la force contre-électromotrice du premier moteur.

ε_2 = la force contre-électromotrice du second moteur.

r_1 = la résistance électrique du premier moteur.

r_2 = la résistance électrique du second moteur.

H_1 = l'intensité du champ magnétique du premier moteur.

H_2 = l'intensité du champ magnétique du second moteur.

α = une constante dépendant du moteur.

Nous avons ici trois cas à distinguer :

1° Les moteurs sont excités en série.

2° Les moteurs sont excités en dérivation (en shunt).

3° Les moteurs sont excités en compound.

1° — Dans le premier cas, l'intensité du champ magnétique sera une fonction de i, donc essentiellement variable

$$H = H_{sat.} \frac{Ni}{Ni + h}$$

où :

$H_{sat.}$ = l'intensité du champ magnétique maxima, saturée.

Ni = le nombre d'ampères-tours.

h = constante = nombre d'ampères-tours qui produisent la demi-saturation (courant diacritique).

Les vitesses deviennent respectivement :

$$n_1 = d \frac{(E - r_1 i_1)(Ni_1 + h)}{H_{sat.} \; Ni_1}; \; n_2 = d \frac{(E - r_2 i_2)(Ni_2 + h)}{H_{sat.} \; Ni_2}.$$

Les vitesses des deux moteurs seraient donc essentiellement différentes, lorsque les résistances offertes sont différentes. Mais, les moteurs sont forcément astreints à la même vitesse, en raison de quoi, et étant données les relations précédentes (où n_1 devient $= n_2$), i_1 deviendra $= i_2$. Les deux moteurs exerceront donc les mêmes efforts, et, en vertu de l'égalité entre l'action et la réaction, les résistances à vaincre se partageront par moitiés égales entre les deux moteurs :

$$R'_1 = R'_2 = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Nous remarquons que nous arrivons jusqu'ici à la même conclusion que le cas de deux moteurs en série, mais les causes en sont exactement opposées. Ici, du reste, s'arrête heureusement la similitude entre les deux cas.

Continuant les mêmes notations que précédemment, et les mêmes hypothèses, supposons, en effet, que la résistance au glissement Q_1 devienne, en un moment donné, $< R'_1$, c'est-à-dire :

$$< \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Le premier moteur rencontrant une résistance moindre au glissement qu'au roulement, ses organes glisseront, et patineront, du moins partiellement. Il continuera à rouler grâce à son inertie, et à l'effort du second moteur, mais il n'agira pas lui-même pour vaincre la résistance de roulement.

Le second moteur rencontre donc la résistance totale du roulement. Or ici, le courant agit sur ce moteur tout à fait indépendamment du premier — c'est ce qui le distingue du cas A ; — il prendra une valeur i'_2, telle que $KH\,i'_2 = R_1 + R_2$, c'est-à-dire :

$$KHi'_2 = \frac{K\, i'_2.\, H_{sat.}\, Ni'_2}{Ni'_2 + h} = \frac{K\, H_{sat}\, Ni'^2_2}{Ni'_2 + h} = R_1 + R_2$$

La vitesse sera

$$n'_2 = d \frac{(E - r_2\, i'_2)\,(Ni'_2 + h)}{H_{sat.}\, Ni'_2}$$

L'intensité aura augmenté, la vitesse, diminué, l'une et l'autre dans une proportion qui dépend principalement de la saturation du champ magnétique. Mais, il n'est pas question d'un patinage complet comme pour le cas A.

Remarquons la différence entre les deux cas A et B, c'est-à-dire suivant que les moteurs sont groupés en série ou en parallèle. Dans le cas B, lorsque des glissements se manifestent dans les organes d'un moteur, le ou les autres moteurs augmentent leurs efforts pour vaincre la résistance totale qu'ils rencontrent, sans le concours du premier moteur, tandis que dans le cas A, lorsqu'il se manifeste, à l'un des moteurs, par suite de glissements, une résis-

tance moindre que la résistance normale, tous les autres moteurs se mettent au diapason de cette plus faible résistance, pour s'arrêter à l'unisson devant la résistance qu'ils rencontrent eux-mêmes, laissant tourner le premier moteur seul, à vide, et à toute vitesse.

Avec les moteurs disposés en parallèle, toutefois, les glissements et patinages *partiels* ne sont pas exclus, ainsi que nous l'avons vu.

2° — Lorsque les champs magnétiques des moteurs sont excités en dérivation, l'intensité de ces champs magnétiques est constante, du moins très approximativement. $H_1 = H_2$ quel que soit i.

$$n_1 = \alpha \frac{E - r_1 i_1}{H_1} \qquad n_2 = \alpha \frac{E - r_2 i_2}{H_2}$$

En examinant ce cas au point de vue théorique pur, abstraction faite de chiffres, on arrive au même résultat, quant au mode de fonctionnement, que dans le cas précédent. Mais, en réalité, les valeurs $r_1 i_1$ et $r_2 i_2$, qui constituent les pertes de force électromotrice dans les armatures des moteurs, sont toujours très faibles, comparativement à E ; par conséquent la force contre-électromotrice et la vitesse varient très peu lorsque l'intensité du courant varie ; l'effet des différences d'intensité, dans les deux moteurs, est du reste tellement peu important, qu'il sera souvent compensé, en partie, par les petites inégalités de construction qui peuvent exister, telles que la qualité du fer dans le champ magnétique, la différence d'échauffement des moteurs qui modifie la résistance électrique du cuivre. Ces petites différences amènent par contre, pour cette même raison, très facilement des différences d'intensité entre les moteurs, qui peuvent être notables, de telle sorte qu'un moteur peut travailler à un taux trop fort, et l'autre à un taux trop faible.

3° — Les moteurs excités en compound jouissent en somme des propriétés combinées des moteurs excités en série, et des moteurs excités en dérivation. Il est donc facile de se rendre compte de leur fonctionnement ; au point de vue que nous avons examiné, ils tiennent le milieu entre les deux autres genres de moteurs.

C. — Très souvent les deux moteurs sont rattachés à un commutateur, combiné de telle façon, qu'il permet de les mettre à volonté en série ou en parallèle. Cette combinaison permet de varier la vitesse dans une mesure qui dépend du genre d'excitation et de la saturation des champs magnétiques, et cette circonstance constitue même une des raisons, qui motivent souvent l'emploi de deux moteurs.

Cependant les moyens pour varier et régler la vitesse ne manquent pas.

D. — A titre de renseignement, je signalerai encore la disposition suivante, qui revient, en somme à la distribution de l'énergie électrique par trois fils. Les deux moteurs sont couplés en série ; le pôle positif du premier et le pôle négatif du second sont donc réunis respectivement aux deux pôles de la source d'électricité, tandis que le pôle négatif du premier et le pôle positif du second sont reliés entre eux. Mais indépendamment de cela, un fil « neutre » réunit le fil de jonction des deux moteurs à un pôle neutre de la source d'électricité, c'est-à-dire au point de la source d'électricité qui divise celle-ci en deux parties égales.

Dans cette disposition, les deux moteurs, bien que couplés en série, reçoivent le courant de deux sources d'électricité indépendantes ; ils sont absolument indépendants, exactement comme deux moteurs en parallèle.

En pratique, il serait peu rationnel d'appliquer aux moteurs d'une même voiture, cette disposition, qui a une excellente raison d'être, pour la distribution de l'énergie électrique à distance en général, mais qui s'appliquerait très difficilement ici.

En résumé, l'emploi de deux ou de plusieurs moteurs électriques sur une même voiture, sur une locomotive ou sur un même train, présente des inconvénients très sérieux au point de vue des glissements et du patinage. Certes, il est des cas, où les conditions, telles que les

dimensions des moteurs, et autres circonstances rendent nécessaire de subdiviser le moteur. Dans ces cas, il n'y a pas à hésiter sur le groupement des moteurs; ceux-ci doivent être mis en parallèle; et encore est-il nécessaire de prendre toutes les précautions possibles, dans les répartitions des charges sur les essieux et dans l'agencement des organes de transmission, pour éviter des glissements partiels.

PAUL HOHO,
Ingénieur du génie civil, des mines,
et des arts et manufactures à Bruxelles.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Sur l'économie de la production directe de l'énergie électrique au moyen du charbon.

L'*Electrical World* se demande si l'utilisation du charbon pour la production directe de l'énergie électrique peut diminuer d'une manière considérable les dépenses de production, et donne à cette question une réponse négative. Ses arguments reposent sur ce fait connu que dans les usines d'électricité les dépenses pour le charbon ne représentent qu'environ 10 p. 100 de la totalité des dépenses. Si ces 10 p. 100 se trouvaient donc réduits même à une quantité négligeable, l'économie atteindrait au grand maximum 10 p. 100.

Notre confrère allemand, *Zeitschrift für Elektrotechnik* trouve dans cette argumentation un point erroné. La fraction des frais de production rentrant dans l'amortissement, diminue avec l'utilisation plus intensive de l'installation, tandis que les frais relatifs au combustible augmentent dans la même proportion. L'amortissement n'augmentera d'ailleurs pas proportionnellement à la puissance de l'usine, tandis que les dépenses de production immédiates s'élèvent proportionnellement.

Si nous désignons par P le prix de revient de l'unité d'énergie électrique, par p la dépense correspondante de combustible, par L la puissance de production de l'usine et par q son facteur d'utilisation, nous avons la relation

$$P = \alpha p + \beta f(q, L).$$

La fonction f diminue à mesure que q et L augmentent, c'est-à-dire que le premier terme croît par rapport au second. Pour certaines valeurs de q et de L ce premier terme ne sera plus de 10 p. 100, mais s'approchera de la valeur 100 p. 100. p prend donc une importance croissante par rapport à P, et il devient dès lors essentiel de savoir combien de watts-heures peut fournir 1 kilog. de charbon. Si f n'était pas une fonction décroissante, mais si elle était simplement égale au produit qL, il est vrai que même la valeur zéro de p n'aurait qu'une influence négligeable sur P, et l'utilisation des chutes du Niagara, dans laquelle $p = 0$, perdrait toute signification économique, tout comme l'utilisation directe du charbon resterait sans importance.

Mais il faut remarquer, en outre, que la fonction f se modifie d'année en année avec les progrès de l'industrie, et rend le second facteur de P de plus en plus petit. Or, à mesure que l'amortissement diminue d'importance, l'importance de p s'accroît.

D'autre part, la diminution de p facilitera l'établissement d'installation à grande échelle et réagit ainsi sur le second terme, en le diminuant. Nous en avons des démonstrations pratiques dans le développement des usines hydrauliques. Le fait que l'utilisation des chutes d'eau a permis de diminuer le prix de revient de l'énergie électrique est le meilleur argument en faveur de l'utilisation directe sous forme d'énergie électrique de l'énergie latente du charbon.

A. H.

Le réseau télégraphique sous-marin du Globe.

Le Bureau international des Administrations télégraphiques, de Berne, a publié récemment l'état, à la fin d'octobre 1894, de

tous les câbles télégraphiques sous-marins du globe. Nous donnons ci-dessous un tableau des câbles des divers pays et des compagnies. Les plus anciens parmi les câbles encore en service sont : le câble franco-anglais à 4 conducteurs de Sangatte-Saint-Margareth's Bay (posé en 1851); le câble anglo-belge à 6 conducteurs de Middelkerke-Ramsgate (1853); le câble russe à 3 conducteurs de Oranienburg-Kronstadt (1853); le câble allemand à 3 conducteurs de Stralsund-Daenholm, et le câble autrichien à 6 conducteurs d'Ombla (1854); ces câbles se trouvent donc, aujourd'hui encore, après 40 années de séjour au fond de la mer, en bon état de service.

Le plus long câble sous-marin est le câble transatlantique de Brest à Saint-Pierre posé en 1869 ; longueur 5.033 kilomètres.

CABLES DES DIVERS ÉTATS

	Nombre de câbles	Longueur en kilomètres des câbles	des fils
Grande-Bretagne	135	8294	11037
Indes britanniques (Départ. indo-europ.)	4	3183	3183
Indes britanniques (Direction gén. télégr.)	107	440	445
France	54	8530	9393
Allemagne	54	3802	7008
Espagne	15	3219	3219
Italie	39	1970	2091
Cochinchine et Tonkin	2	1472	1472
Indes hollandaises	5	1437	1437
Danemark	60	390	1064
Grèce	47	840	840
Turquie d'Europe et d'Asie	23	638	677
Japon	34	497	615
Nouvelle-Zélande	3	364	528
Belgique	2	101	517
Norvège	264	484	484
Russie d'Europe	8	394	438
Iles Bahama	1	394	394
Canada	1	370	370
Suède	14	177	318
Chine	2	304	304
Queensland	13	293	293
République Argentine	13	111	257
Autriche	35	227	240
Portugal	4	213	213
Pays-Bas	20	113	151
Russie d'Asie	1	130	130
Australie centrale	5	92	92
Brésil	21	61	80
A reporter	986	33540	47290
Report	986	33540	47290
Nouvelles Galles du Sud	4	40	40
Suisse	2	18	25
Sénégal	1	5	6
Nouvelle-Calédonie	1	2	2
Totaux	994	33605	47363

CABLES DES COMPAGNIES

	Nombre de câbles	Longueur en kilomètres des câbles	des fils
Direct Spanish Telegraph C°	4	1316	1316
India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works C°	3	270	270
Schwarze-Meer-Telegraphen-Gesellschaft	1	625	625
Indo-europaische Telegr. Gesellch.	2	27	93
Grossnordische Telegr. Comp.	24	12905	13327
Eastern Telegraph C°	79	47809	47822
Eastern and South african Telegr. C°.	13	16384	16384
Eastern Extension Australasia and China Telegraph C°	27	32239	32239
The Europe and Azores Telegr. C°.	2	1950	1950
Anglo-American Telegraph C°	15	22765	23873
Direct United States Cable C°	2	5740	5740
Compagnie française du télégraphe de Paris à New-York	4	6561	6561
Western Union Telegraph C°	12	13598	13598
The Commercial Cable C°	7	16797	18352
Halifax and Bermudas Cable C°	1	1574	1574
Brazilian submarine Telegr. C°	6	13658	13658
South american Cable C°	2	3795	3795
African Direc. Telegr. C°	8	5096	5096
West-African Telegr. C°	12	5661	5661
Cuba submarine Telegr. C°	4	1943	1943
West-India and Panama Telegr. C°.	22	8440	8440
Société française des télégraphes sous-marins	15	8421	8421
Western and Brazilian Telegr. C°	16	11397	11397
River Plate Telegraph C°	1	59	119
Mexican Telegraph C°	3	2831	2831
Central and South american Telegr. C°	15	13891	13891
Westcoast of America Telegr. C°	8	3641	3641
Compania telegrafico-telefonica del Plata	1	52	104
Compania telegrafica del Rio de la Plata	1	52	52
Totaux	310	258999	262273
Câbles des Etats	994	33605	47363
Totaux généraux	1304	292604	309636

A. H.

Turbine et dynamo combinées.

La figure ci-après, tirée de *The Electrician*, de Londres, représente une combinaison d'une turbine hydraulique avec une dynamo.

La dynamo est construite pour un débit de 50 ampères sous 80 volts à 750 tours par minute. L'armature est du type Gramme. Les segments des collecteurs sont en cuivre écroui, et isolés au mica. Les balais, en charbon, conservent leur calage à toutes les charges. Les électros, en fer forgé sont enroulés en shunt. Le rendement électrique est d'environ 86 p. 100.

La turbine est du type Girard, avec roue de 25 cm. de diamètre interne, montée sur l'arbre de l'induit. Elle fournit 6 chevaux avec un débit de 1 mètre cube par minute sous une chute de 37 mètres. L'eau est amenée par quatre tuyaux qu'une vanne permet de fermer successivement. La vanne peut être manœuvrée à la main ou par la pression hydraulique. A. H.

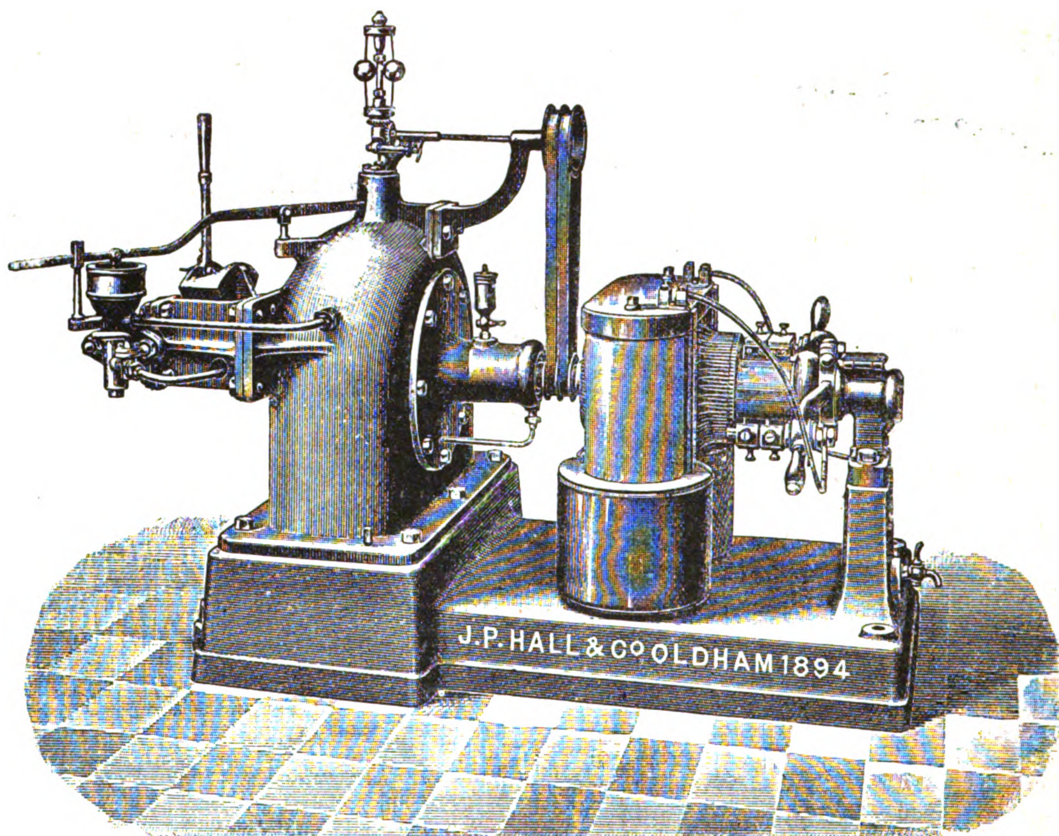


Fig. 1. — Turbine et dynamo combinées.

Notes sur la téléphonie aux États-Unis, par G. de la Touanne (¹).

EMPLOI DES ACCUMULATEURS

Une disposition caractéristique, dans les nouvelles installations, introduite d'ailleurs également au cours de ces trois ou quatre dernières années, dans les bureaux déjà anciens, est celle qui consiste à substituer des accumulateurs aux piles pour les microphones, l'essai et le rappel électrique des volets d'annonciateurs, s'il existe ; lorsque l'immeuble est branché sur un réseau de distribution, la charge des accumulateurs est facile. On sait l'inconvénient qui se présente lorsqu'on tente d'alimenter les circuits primaires de plusieurs transmetteurs avec une même pile ; les postes s'entendent les uns les autres. Ceci n'a rien

(¹) Voir l'*Éclairage électrique*, 2 mars 1895.

qui doive surprendre et montre simplement une fois de plus que, pour desservir plusieurs circuits à l'aide d'un même générateur d'électricité sans que les émissions faites sur un circuit influencent les transmissions effectuées sur les autres, il faut que la résistance intérieure du générateur soit nulle. En pratique, les accumulateurs, avec la résistance intérieure extrêmement faible dont ils sont doués lorsqu'ils sont convenablement choisis, donnent une solution complète, au moins pour les besoins actuels. C'est ainsi qu'on arrive, à l'aide de quatre accumulateurs seulement, de 0,01 de résistance intérieure, à fournir le courant nécessaire à 100 postes d'opérateurs : si l'on compte en outre quatre accumulateurs en charge et quatre tout chargés formant secours en cas d'accident à la batterie en

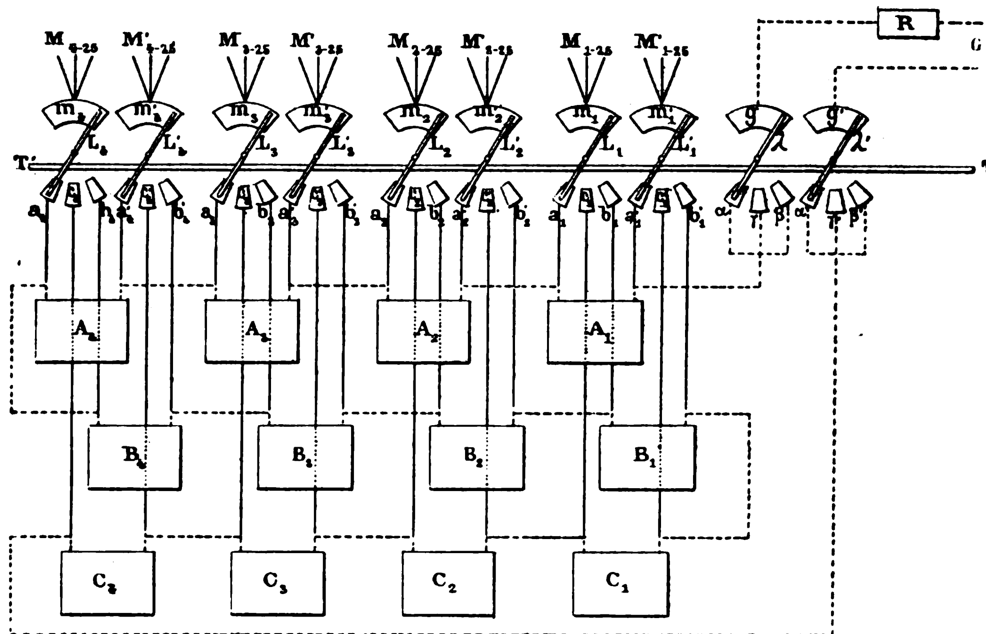


Fig. 19. — Emploi des accumulateurs dans les bureaux centraux téléphoniques.

service, on voit que 12 accumulateurs en tout suffisent là où il aurait fallu, dans le cas le plus favorable, au moins 100 éléments. Encore l'expérience a-t-elle montré que le jeu de secours était inutile, en sorte que 8 éléments suffisent, et nous n'avons vu qu'un seul poste possédant les trois séries ; elles avaient été établies au moment de l'essai, et l'installation a été ensuite laissée telle quelle. La figure 19 indique comment celle-ci est disposée. Un groupe A est représenté en service, un, B par exemple, est en charge, le troisième, C, en réserve :

A_1, A_2, A_3, A_4, accumulateurs (1[er] groupe).

B_1, B_2, B_3, B_4, — (2[e] groupe).

C_1, C_2, C_3, C_4, accumulateurs (3[e] groupe).

G générateur.

g, g' secteurs en cuivre communiquant avec les pôles du générateur.

$m_1, m'_1, m_2, m'_2, m_3, m'_3, m_4, m'_4$, secteurs en cuivre à chacun desquels aboutissent les fils de 25 microphones, m_1 correspondant à un côté des 25 microphones formant un premier groupe, m'_1 à l'autre côté et ainsi de suite.

α, γ, β secteurs en cuivre reliés entre eux et à l'un des conducteurs de charge.

α', γ', β' secteurs en cuivre reliés entre eux et à l'autre conducteur de charge.

a_1, a'_1 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur A_1.

a_2, a'_2 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur A_2.

b_1, b'_1 secteurs en cuivre relies aux pôles de l'accumulateur B_1.

c_1, c'_1 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur C_1.

---- circuits de charge.

—— circuits de décharge.

M_{1-25}, M'_{1-25} fils des 25 microphones formant un premier groupe et desservis par des accumulateurs A_1, B_1 ou C_1 suivant le cas.

M_{2-25}, M'_{2-25} fils des 25 microphones formant un second groupe et desservis par les accumulateurs A_2, B_2 ou C_2 suivant le cas.

L_1, L'_1 leviers commutateurs établissant la communication entre A_1, B_2 ou C_1 d'une part, m_1, m'_1 d'autre part.

λ, λ' leviers donnant la communication entre le générateur et les conducteurs de charge.

Tous les leviers sont reliés entre eux par une tige de manœuvre commune TT' qui permet de les reporter simultanément sur l'un quelconque des groupes. Tous les accumulateurs, y compris ceux en service, peuvent, comme le montre la figure, rester sur le circuit de charge : en prévision du cas où les variations du courant de charge amené directement se feraient entendre dans les postes de service, on peut embrocher sur le circuit de charge une bobine retardatrice ; mais cela n'est pas nécessaire si l'on dispose, pour effectuer la charge, d'un générateur convenable (1). Les réseaux de distribution n'étant jamais dans les conditions voulues pour charger le petit nombre d'accumulateurs destinés à desservir le multiple, on fait usage de machines dynamo-électriques spéciales, désignées sous le nom de moteurs-générateurs (2), placées entre le circuit de distribution et les accumulateurs. Ce sont de simples petites dynamos dont l'armature mobile porte deux enroulements, l'un recevant le courant de distribution et fonctionnant comme enroulement moteur, l'autre formant enroulement générateur et relié aux accumulateurs ; on peut utiliser naturellement un moteur et un générateur séparés, mais c'est une combinaison plus encombrante et, à moins qu'on ne possède déjà les machines, plus coûteuse. L'enroulement générateur est choisi d'après la force électro-motrice et l'intensité du courant nécessaire à la charge, suivant le nombre, par exemple, des accumulateurs qu'on veut charger en série. L'emploi de ces transformateurs rotatifs et des accumulateurs permet d'arriver à des installations remarquablement réduites et faciles à entretenir. C'est ainsi que pour 50 postes d'opérateurs, on a sur une table occupant 3 mètres carrés à peu près, munie de deux tablettes, plus d'espace qu'il n'en faut pour les quatre accumulateurs (deux en service, deux en charge), le moteur-générateur correspondant et un autre de rechange ; il reste encore la place nécessaire pour deux accumulateurs et deux moteurs-générateurs, dont un de rechange, destinés à l'essai et au rappel électrique : voici, pour fixer les idées, les données relatives à un moteur-générateur transformant un courant continu de 110 volts en un courant continu à 6 volts et 30 ampères :

Longueur.	$0^m,47$
Largeur	$0^m,26$
Hauteur	$0^m,33$
Nombre de révolutions par minute. . . .	1.700
Poids.	55^{kg}.

On vient de voir que, dans le montage figuré ci-contre (fig. 19), les fils appartenant aux circuits primaires des microphones partent *individuellement*, isolément les uns des autres, *des secteurs en cuivre* m_1, m'_1, m_2... Ceci est absolument indispensable pour que les postes ne s'entendent pas réciproquement ; il serait inutile de prendre des accumulateurs de très faible résistance intérieure si une résistance devait être intercalée entre eux et le point où se feraient les dérivations aux divers microphones : même avec des conducteurs d'alimen-

(1) La bobine garantit cependant aussi contre la mise du générateur en court circuit à travers l'ensemble des accumulateurs.

(2) Dans ces derniers temps, on a substitué à ce terme fort bien choisi puisqu'il exprime sans périphrase et très clairement les deux fonctions remplies par l'appareil, le nom de Dynamoteur. Cette innovation nous semble malheureuse, ce mot nouveau étant loin de pouvoir se passer de définition ; il nous paraitrait fâcheux d'abandonner l'expression très claire introduite précédemment dans le service téléphonique.

tation constitués par du fil de cuivre de 5 millimètres et longs seulement de 15 mètres, c'est-à-dire ayant, aller et retour, environ $0^{\omega},02$ de résistance, on constate un peu de mélange entre les transmissions. Au contraire, si, n'ayant besoin que d'un accumulateur et voulant se donner plus d'aises pour les attaches, on en relie les pôles à des barres de cuivre de 2 à 3 mètres de long, mais ayant 2 centimètres carrés de section (résistance d'un bout

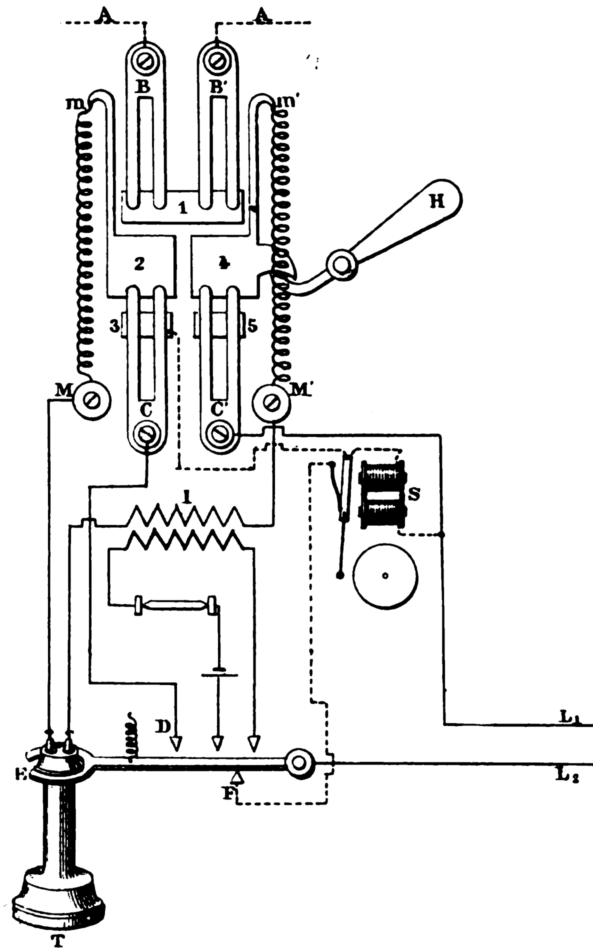


Fig. 20. — Système Law. Poste d'abonné sur sonnerie.

à l'autre inférieure à 300 microhms), on peut faire partir de *ces barres mêmes* des fils de cuivre de $1^{mm},5$ ou 2 millimètres, recouverts d'un isolant et les mener à des microphones situés à 30 mètres des accumulateurs, *sans percevoir aucun mélange :* c'est là un résultat de la pratique journalière. Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention sur cette condition.

SYTÈME LAW

Dans les bureaux de création récente, les appareils ci-dessus décrits figurent généralement tous ; c'est pourquoi nous les avons groupés en un examen d'ensemble. Il y a lieu cependant de revenir un instant aux commutateurs et de mentionner le système actuellement en service à Philadelphie. Dès le début

de la téléphonie, la compagnie Law, créée d'abord pour exploiter des bureaux centraux télégraphiques où aboutissaient et pouvaient être reliées entre elles des lignes louées à des particuliers, fut naturellement entraînée à installer des bureaux centraux téléphoniques. M. Frank Shaw, ingénieur de la compagnie, combina un système qui fut bientôt connu sous le nom de système Law et eut d'assez nombreux partisans. Dans le système de la com-

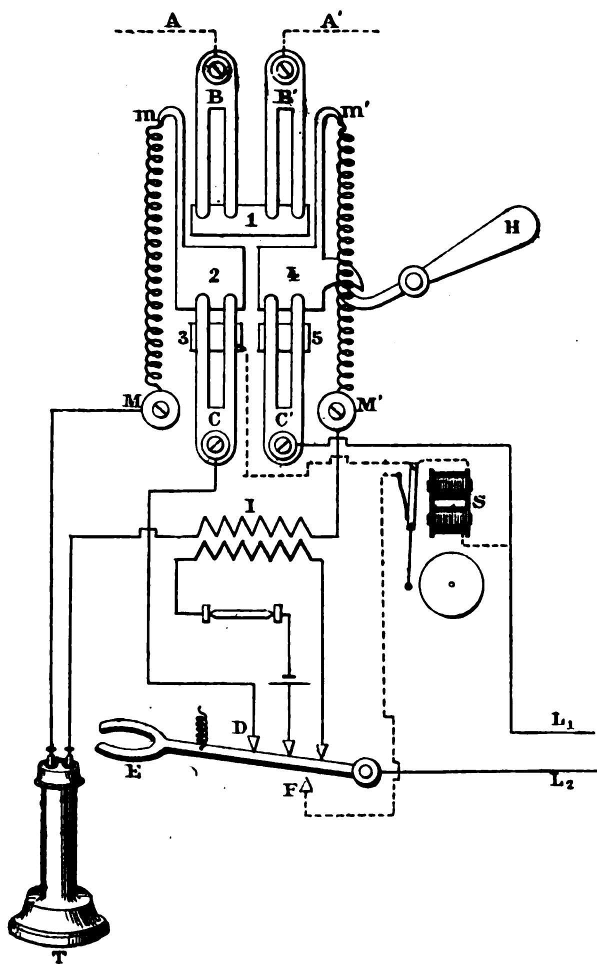


Fig. 21. — Système Law. Poste d'abonné en conversation.

pagnie Law, aucun annonciateur ni organe analogue n'existe au poste central, aucune pile d'appel ni magnéto chez les abonnés : les appels se font verbalement et à l'aide d'un circuit spécial dit *circuit d'appel* aboutissant, au poste central, au téléphone que l'opérateur tient constamment à l'oreille. Tout en conservant chacun, *pour la conversation*, une ligne privée, personnelle, les abonnés sont groupés en nombre considérable, jusqu'à cent et davantage, sur ce circuit. Jusqu'à ces dernières années, le système n'avait comporté que des lignes unifilaires, il a été, en 1891, à Philadelphie, appliqué pour la première fois à des lignes bifilaires et c'est ce qui donne un intérêt particulier au réseau de cette ville.

Les microphones d'abonnés comportent, comme ceux desservis précédemment par li-

gnes unifilaires, un commutateur permettant de les mettre en communication avec le circuit d'appel ou de les laisser sur le circuit de conversation. Le commutateur est formé, en principe, de cinq plaques métalliques 1, 2, 3, 4, 5, (fig. 20), fixées sur un bloc d'ébonite sollicité constamment vers une certaine position de repos par des ressorts M*m*, M'*m'*, mais pouvant en être écarté, être soulevé, par exemple, à l'aide d'une poignée H : or, dans la position

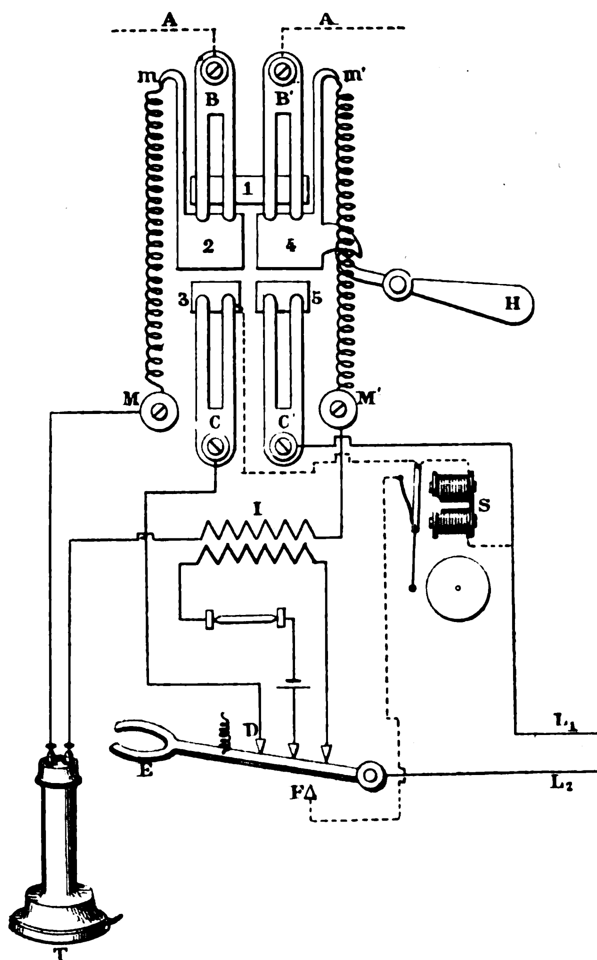


Fig. 22. — Système Law. Poste d'abonné : position d'appel.

du repos, la plaque 1 relie électriquement deux ressorts B et B' auxquels sont rattachés respectivement les deux fils par lesquels le circuit d'appel est amené chez l'abonné ; d'autre part, deux ressorts C et C', appuyant sur les plaques 2 et 4 sont en communication, C' avec le fil L_1 de la ligne de conversation et C avec le butoir D du levier commutateur ; et comme les plaques 2 et 4 sont réunies par les ressorts M*m*, M'*m'* aux extrémités M et M' du circuit secondaire du microphone, il en résulte (fig. 21) qu'en enlevant seulement le téléphone du levier E, auquel aboutit le second fil de ligne L_2, on met le poste, à travers M*m*, 2, C, D et E d'une part, M'*m'*, 4 et C' d'autre part, en communication avec les deux fils de ligne. Pour le porter sur le circuit d'appel (fig. 22), il suffit d'appuyer sur la poignée H :

on relève ainsi le bloc des lames et l'on amène 2 et 4 sous les ressorts B et B', intercalant ainsi le poste entre eux deux, c'est-à-dire l'embrochant dans le circuit d'appel. L'abonné donne alors le numéro de l'abonné qu'il demande et aussi le sien propre, nous allons voir dans un instant pourquoi, puis, après avoir reçu du poste central un signal convenu, abandonne la poignée H et rentre de cette manière sur le circuit de conversation. L'abonné, si son correspondant est libre, entre alors en communication avec lui.

(*A suivre.*)

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Piles à électrolytes fondus et à dépolarisants gazeux, par J. W. Swan (1).

Si, dans un chlorure métallique fondu, on plonge un cylindre du métal correspondant au chlorure et un cylindre de charbon de cornue, puis qu'on réunisse ces deux cylindres par un fil métallique, on obtient un courant. Mais ce courant ne dure qu'un instant, le cylindre de charbon se recouvrant immédiatement, par suite de l'électrolyse du sel fondu, d'un dépôt métallique qui égalise les potentiels des électrodes. Pour obtenir un courant continu, il faut dissoudre ce dépôt à mesure qu'il se forme.

L'auteur a essayé divers dispositifs pour obtenir une pile continue fondée sur ce principe. Le métal est du plomb; le corps employé pour se débarrasser du dépôt est le chlore. Les figures 1 à 5 représentent quelques-uns de ces dispositifs.

Dans les figures 1, 2 et 3, AA représente un vase de fer contenant du plomb fondu B, et, au-dessus de ce plomb, un mélange fondu C,

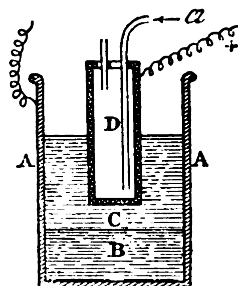


Fig. 1.

de chlorure de potassium et de chlorure de sodium en proportions équivalentes. Dans le

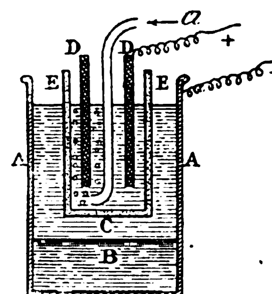


Fig. 2.

premier dispositif, l'auteur employait comme électrode positive, un vase poreux D, en char-

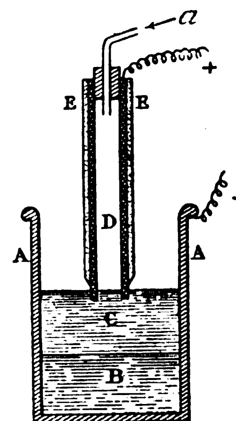


Fig. 4.

bon de cornue à l'intérieur duquel circulait un courant de chlore. En fermant le circuit sur un ampèremètre de faible résistance, il obte-

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 56-64; 1894.

nait un courant dont l'intensité dépassait un ampère, mais ce courant s'affaiblissait rapidement; le chlore n'agissait pas comme dépolarisant, même quand la pression de ce gaz était suffisante pour qu'il traverse les parois du vase.

Dans le second dispositif, l'électrode positive est constituée par un cylindre de charbon D, ouvert aux deux bouts et contenu dans un vase en terre poreuse. Fermé sur un voltmètre de 1.000 ohms de résistance, l'élément indiquait une force électromotrice de 0,3 volt; c'était la force électromotrice après polarisation. Si l'on

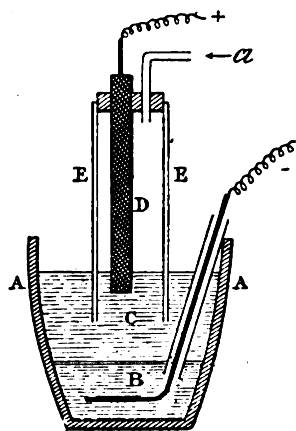


Fig. 4.

faisait passer un courant de chlore de manière que les bulles gazeuzes s'élèvent le long des parois du cylindre, la force électromotrice devenait égale à 1,25 volt, et si on reliait alors l'élément à l'ampèremètre, on constatait le passage d'un courant de près de 1 ampère pendant trois quarts d'heure à une heure. L'élément fonctionnait donc comme un élément complètement dépolarisé.

Pour éviter l'attaque du vase en terre poreuse par l'électrolyte fondu, l'auteur employa ensuite le dispositif que représente la figure 3 et où le cylindre de charbon D sert de tube d'arrivée du chlore; ce cylindre était entouré d'un cylindre de porcelaine EE pour empêcher le passage du chlore à travers le charbon. L'élément avait une force électromotrice de 1,4 volts; fermé sur une résistance de 1 ohm, il donnait un courant continu de 0,6 ampère. La différence de potentiel entre ses pôles était alors de 0,9 volt, ce qui indique une résistance intérieure de 1,3 ohm, résistance beaucoup plus grande que celle du dispositif précédent, ce qui tenait sans doute à la grande longueur du cylindre de charbon et à la défectuosité des contacts détériorés rapidement par le chlore.

Dans les deux dernières dispositions, le mélange de chlorure de sodium et de chlorure de potassium, était remplacé par du chlorure de plomb C. Ce chlorure et le plomb B, étaient contenus dans un creuset de porcelaine (fig. 4) ou dans un creuset de plombagine (fig. 5) chauffés dans un fourneau à gaz. L'électrode positive était formée par un cylindre de char-

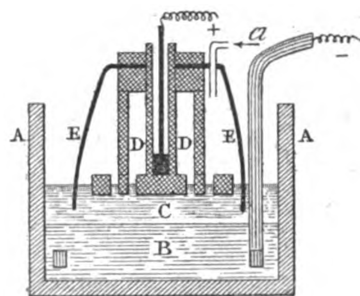


Fig. 5.

bon D, enfermé dans un tube de porcelaine (fig. 4) ou dans un creuset de porcelaine renversé (fig. 5). L'électrode négative était constituée par un fil ou un anneau de fer plongeant dans le plomb fondu et était protégée du contact du chlorure par un revêtement de porcelaine. Dans la dernière disposition le bloc cylindrique de charbon DD était percé de trous pour faciliter le passage du chlore.

Avec la disposition 4 la plus grande force électromotrice obtenue était de 1,25 volt et le courant le plus intense de 0,9 ampère. Avec la dernière, la force électromotrice oscillait entre 0,94 et 0,96 volt et atteignait au plus 0,98 volt. La force électromotrice théorique, calculée au moyen de la chaleur de formation du chlorure de plomb, est de 1,7942 volt. La faiblesse de la force électromotrice observée,

est probablement due à la solution incomplète du plomb à l'électrode de charbon.

Le tableau suivant donne, dans la première colonne, la différence du potentiel V des pôles quand l'élément était fermé sur diverses résistances; dans la seconde, l'intensité I du courant dans ces conditions ; dans la troisième, la résistance intérieure R, de l'élément calculée par la formule

$$R = \frac{E - V}{I},$$

où E est la force électromotrice en circuit ouvert.

V		I		R	
0,26	volt	12,0	ampères	0,06	ohm
0,24	—	10,0	—	0,07	—
0,62	—	4,0	—	0,07	—
0,76	—	1,26	—	0,16	—
0,72	—	1,75	—	0,14	—
0,72	—	2,15	—	0,12	—
0,66	—	2,50	—	0,12	—

Les nombres de la troisième colonne montrent que, contrairement à ce qui a lieu dans les piles à électrolytes dissous, la résistance intérieure et, par suite, la polarisation *diminuent* quand l'intensité du courant *croît*. Ils montrent également que, pour un débit variant de 1,26 à 2,50 ampères, l'élément peut être considéré comme étant constant.

Quelques expériences ont aussi été faites en employant l'oxygène comme dépolarisant ; elles seront décrites dans un prochain Mémoire.

J. B.

La résistance à la décharge électrique de mélanges d'azote et d'hydrogène, par Miss P.-G. Fawcett (1).

L'auteur s'est proposé de déterminer la force électromotrice nécessaire pour produire une étincelle entre deux disques métalliques plans placés dans des mélanges d'azote et d'hydrogène, en proportions diverses et sous différentes pressions.

L'hydrogène employé était obtenu par l'électrolyse de l'eau, car on avait reconnu que le gaz préparé à la façon ordinaire, par le zinc et l'acide chlorhydrique, contenait des impuretés qui affectaient beaucoup sa résistance à la décharge.

Les deux gaz étaient recueillis sous l'eau dans une éprouvette à gaz graduée et étaient abandonnés pendant plusieurs heures afin qu'ils soient bien mélangés avant d'être introduits dans l'appareil. On faisait passer le mélange dans de l'acide sulfurique pour le dessécher et sur du coton pour arrêter les poussières.

La force électromotrice était donnée par une batterie de piles, chaque élément ayant une force électromotrice de 2 volts environ. La force électromotrice totale se déduisant simplement du nombre d'éléments utilisés ; celle d'un élément était mesurée par un électromètre à quadrants.

Aux très basses pressions on constata que, à moins de prendre des précautions spéciales pour empêcher la décharge de passer autre part qu'entre les disques, cette décharge prend un chemin plus long et se produit entre les fils de connexion et les revers des plaques. Quand la distance était de 0,047 pouce (0,12 cm.) la décharge commençait à se produire entre les revers des plaques quand la pression était réduite à 2 mm. environ.

Dans les dernières expériences, on évitait cet inconvénient en employant des plaques emboîtées dans des disques d'ébonite ne laissant découvertes que les faces entre lesquelles on voulait faire passer la décharge et en faisant les connexions avec des fils bien entourés de gutta. Toutefois, lorsque les plaques étaient en expérience depuis quelque temps, la gutta laissait passer l'électricité, et parfois une décharge se produisait en partie entre les fils et en partie entre les plaques.

Les plaques étaient maintenues à une distance convenable en plaçant entre elles des petites cales d'ébonite de même épaisseur (0,047 pouce). Dans les premières expériences, les plaques étaient placées dans une cloche ordi-

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 263-271.

naire reposant sur une surface plane et le bord de la cloche était graissé avec un mélange de cire d'abeilles et de vaseline. Craignant que la graisse ne donnât quelque vapeur, l'auteur arrangea l'appareil de telle sorte qu'on pût le rendre étanche sans employer de corps gras. Dans ce but, il employait une cloche plus étroite fermée par un bouchon de caoutchouc

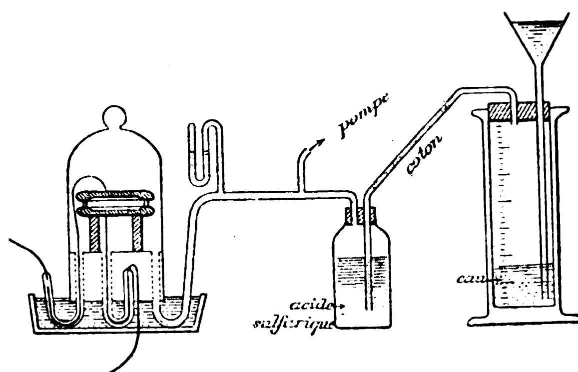


Fig. 1. — Dispositif expérimental adopté pour mesurer la résistance à la décharge de mélanges gazeux.

à travers lequel passaient trois tubes de verre ; deux d'entre eux servant au passage des fils de connexion et le troisième mettant la cloche en communication avec une pompe à vide et avec l'éprouvette à gaz. La cloche, avec son bouchon, était placée dans un vase contenant du mercure, de manière que la jonction du verre et du caoutchouc soit immergée. La figure 1 montre la disposition des appareils.

Tableau I.

FORCES ÉLECTROMOTRICES NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE UNE DÉCHARGE ÉLECTRIQUE ENTRE DEUX PLATEAUX A LA DISTANCE DE 0,12 CM., DANS L'AZOTE ET L'HYDROGÈNE, A DIFFÉRENTES PRESSIONS.

Az pur		2Az + 1H		3Az + 2H		1Az + 1H		2Az + 3H		1Az + 2H		H pur	
Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.	Pression	F. é. m.
24	586	15	466	17,5	508	14,5	432	18,5	480	27	536	25	488
15,5	480	10	388	12	436	10	396	14,5	444	17	476	17	456
9,5	406	7,5	368	8	400	7	378	11,5	424	11	450	10,5	442
5,5	366	5,5	370	5	396	5	382	9,5	404	7	428	7,5	460
3,5	366	3,5	386	2,75	774	3	428	6,5	380	4	440	4,5	700
1,5	1400	2,75	470	2,25	1200	2	560	4	462	2	720	1,5	980
13,25	460	1,75	800	»	»	22	500	2	au-dessus de 1600	1,5	940	17,5	440
10	426	»	»	»	»	16	458	»	»	»	»	9,5	420
7	370	»	»	»	»	10	416	»	»	»	»	5,5	500
4,25	366	»	»	»	»	3,5	520	»	»	»	»	»	»
2	1400	»	»	»	»	14,5	452	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	8	416	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	2,5	552	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	2	au-dessus de 1180	»	»	»	»	»	»

Le tableau ci-dessus donne les résultats obtenus avec cette disposition. Ces résultats montrent que, quand on diminue graduellement la pression, la force électromotrice commence par décroître, passe par un minimum, puis croît très rapidement aux basses pressions. Les résultats obtenus avec la première disposition

sont analogues, mais la force électromotrice pour une pression donnée est en général moindre qu'avec la seconde disposition.

La pression correspondant à la force électromotrice minima diminue quand la proportion d'azote dans le mélange augmente. Pour une longueur d'étincelle de 0,047 pouce, cette pression varie de 11 mm. pour l'hydrogène pur à 5 mm. environ pour l'azote pur.

Aux hautes pressions, la force électromotrice requise pour produire une décharge sous une pression donnée diminue continuellement quand la proportion de l'hydrogène par rapport à l'azote augmente. Aux basses pressions la relation entre la composition du mélange et la force électromotrice requise pour produire une étincelle est moins simple. Elle est représentée par les courbes de la figure 2 où les forces électromotrices en volts sont portées en ordonnées, ces ordonnées divisant la ligne NH dans le rapport des volumes d'azote et d'hydrogène dans le mélange.

Ces courbes sont relatives à des pressions de 20, 15, 10, 5 et 4 mm. Elles ne pourraient

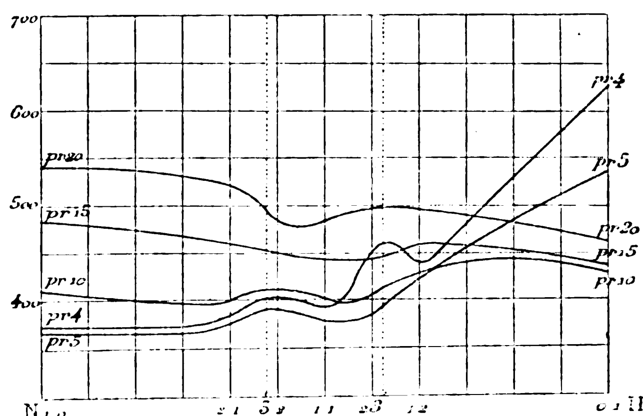


Fig. 2. — Relation entre la composition de divers mélanges gazeux et la force électro motrice requise pour y produire une étincelle, à différentes pressions.

être correctes pour des pressions plus basses à cause de l'extrême rapidité avec laquelle la force électromotrice croît aux basses pressions, rapidité qui empêche de déterminer cette quantité avec précision.

On voit que, pour les pressions de 20 et de 15 mm., l'inclinaison des courbes est dirigée de l'extrémité correspondant à l'azote à l'extrémité correspondant à l'hydrogène ; mais que pour les pressions de 10, 5 et 4 mm., l'inclinaison générale est en sens contraire ; aux basses pressions, l'augmentation de la quantité d'hydrogène a donc pour effet d'accroître la résistance du mélange au passage de la décharge. Mais cette résistance ne croît pas uniformément en même temps que la proportion de l'hydrogène ; elle passe par plusieurs minima et maxima. D'ailleurs il n'est pas inutile de faire observer que les courbes de la figure 2 peuvent n'être pas correctes pour des mélanges intermédiaires entre ceux sur lesquels les observations ont été faites. Ces courbes, surtout pour les basses pressions, doivent être considérées plutôt comme un moyen de représenter graphiquement les résultats obtenus à une même pression que comme un essai d'interpolation.

J. B.

Sur les capacités inductives spécifiques de l'eau, de l'alcool, etc., par J. Hopkinson (¹).

Récemment, M. Fessenden (²) publiait dans le *Philosophical Magazine* une note dont

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 134 ; janvier 1895.

(²) Fessenden. *Phil. Mag.*, t. XXXVIII ; p. 567 ; *L'Éclairage électrique*, t. I, p. 666.

les conclusions se trouvaient en désaccord avec les résultats obtenus par de nombreux expérimentateurs. Pour cette raison, nous avions cru utile d'en donner la traduction littérale. A ce propos, M. Hopkinson adresse la note suivante :

« ... Dans cet article, le professeur Fessenden dit que les valeurs élevées trouvées par Cohn et Arons et par d'autres pour l'eau, l'alcool, etc., ne sont pas correctes et que les valeurs véritables sont, pour chacune de ces substances, très approximativement égales à celles auxquelles conduit la théorie de Maxwell. Il dit aussi que toutes les déterminations relatives aux substances telles que le soufre, etc., sont également incorrectes. Or les observations qu'il considère comme incorrectes ne sont pas celles d'un seul observateur, mais celles de nombreux expérimentateurs dont les résultats concordent bien.

« Prenons d'abord les solides. Il a été démontré que la capacité du flint léger aux températures ordinaires est la même, que la durée de la charge soit de 1/2000 de seconde ou de 1/2 seconde, qu'elle est indépendante du potentiel de charge et que sa valeur est d'environ 6,7 (1). On sait que ce verre isole si bien qu'il peut conserver sa charge pendant plusieurs mois. Et M. Fessenden pense que ces résultats peuvent être viciés par une polarisation électrolytique ou par une structure lamellaire hypothétique de la matière! La capacité inductive spécifique de la glace a été déterminée par Bouty (2). Il trouve 78, nombre approximativement égal à celui que Cohn et Arons trouvent pour l'eau. Mais la résistance de la glace est de 10^5 à 10^6 fois plus grande que celle de l'eau, ce qui exclut l'hypothèse d'une polarisation électrolytique.

« Si nous passons aux liquides, nous avons un grand nombre de déterminations qui s'écartent aussi de la loi de Maxwell. Prenons, par exemple, l'huile de castor et l'éther. L'un et l'autre de ces liquides isolent assez bien pour qu'on soit sûr qu'aucune polarisation électrolytique n'affecte les résultats. Quincke détermina la capacité de l'éther (1) par trois méthodes différentes et trouva environ 4,7 par chacune d'elles; par une quatrième méthode je trouvai 4,75. Pour l'huile de castor j'ai obtenu par deux méthodes très différentes 4,78 et 4,82 (2). Tous ces résultats s'écartent beaucoup de la loi de Maxwell lorsqu'on fait usage des indices de réfraction pour les rayons visibles, et ils rendent les résultats obtenus pour l'eau par Cohn et Arons et par Tereschin non improbables *a priori*. Aussi je pense que cela suffit pour montrer que les résultats donnés par le professeur Fessenden sont douteux.

« Le professeur Fessenden dit aussi que l'eau pure isole aussi bien que la gutta percha! La plus haute résistance trouvée pour l'eau est cependant bien au-dessous de celle de la gutta. »

J. B.

(1) GRAY. *Absolute Measurement in Electricity and Magnetism*, t. I, p. 473.
(2) BOUTY. *Comptes rendus*, t. CXIV, p. 533, 7 mars 1892.

Sur la détermination électrique de l'équivalent mécanique de la calorie, par E.-H. Griffiths (3).

« Dans une communication faite à la Société Royale le 22 novembre dernier, le professeur Schuster (4) relevait une erreur dans ma détermination de la valeur de J (5). Cette erreur consiste en ce que je n'ai pas tenu compte de la chaleur spécifique de l'air déplacé par l'eau. La méthode que j'ai adoptée ne donne en effet que la différence entre le taux d'accroissement quand un espace limité est d'abord rempli d'air et ensuite rempli d'eau. La correction nécessaire élève ma valeur de J d'environ 1/400. »

J. B.

(1) GRAY, p. 483.
(2) HOPKINSON. *Phil. Trans.*, t. CLXVII, p. 610 et *Proc. Roy. Soc.*, octobre 1887.
(3) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 143, janvier 1895.
(4) SCHUSTER et GANNON. *Roy. Soc. Proc.*, t. LVII, p. 25. — *L'Éclairage électrique*, t. II, p. 130.
(5) GRIFFITHS. *Roy. Proc. Soc.* t. LIII, p. 6 et t. LV, p. 23. — *La Lumière électrique*, t. XLIX, p. 203 et t. LII, p. 392.

Transmission de l'électricité à travers un gaz entourant un conducteur porté au rouge par un courant électrique, par G. Vicentini et M. Cinelli (¹).

Dans des expériences préliminaires les auteurs prenaient un fil de platine, de 20 cm. de long et de 0, 25 mm. de diamètre, tendu horizontalement et porté au rouge par le courant de quatre accumulateurs de 90 ampères-heures de capacité. L'intensité de ce courant pouvait être modifiée au moyen d'un rhéostat à fil de maillechort fin et de deux rhéocordes à fils plus gros. Elle était mesurée, soit avec un électrodynamomètre Siemens, soit, pour plus de commodité, avec un ampèremètre Kohlrausch contrôlé avec l'appareil précédent et donnant une approximation de 1/100 d'ampère. A quelque distance au-dessus du fil rougi était disposé un gros et court fil de platine isolé, porté par un bâton de cire à cacheter; ce bâton était fixé à un support permettant de faire varier la distance des fils et de la maintenir constante pendant la durée d'une expérience malgré la courbure que prenait le fil long par suite de sa dilatation. Le potentiel du fil isolé était mesuré avec un électromètre d'Edelmann, chargé avec 150 éléments zinc-platine dans l'eau de pluie et rendu suffisamment sensible pour qu'à un potentiel de 1 volt correspondit une déviation de 20 divisions d'une échelle en millimètres placée à 225 cm. de l'appareil. Le fil rougi et le fil isolé étaient protégés des agitations de l'air par une boîte en carton.

Pour se placer toujours dans les mêmes conditions, les auteurs commençaient par étudier la distribution du potentiel le long du fil rougi et en mettant certains points du circuit contenant ce fil en communication avec le sol, ou simplement en changeant la position des résistances, ils faisaient en sorte que la différence de potentiel entre le milieu du fil et le sol soit toujours d'environ 4 volts.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus dans une de ces mesures préliminaires avec un fil isolé placé à 1 mm. au-dessus du fil incandescent. I désigne l'intensité du courant, exprimé en ampères, qui traverse ce dernier fil; V est le potentiel auquel est porté le fil isolé.

I =	3,65	3,87	3,95	4,03	4,13	4,36	5,03
V =	0,28	0,50	1,78	2,30	3,06	3,82	5,18

La courbe représentative de ces résultats montre que le potentiel augmente rapidement, pour le fil étudié, quand l'intensité du courant est comprise entre 3,9 et 4 ampères.

Pour s'assurer que la nature du gaz a une influence sur la valeur du potentiel que prend le fil isolé quelques expériences comparatives furent faites avec l'air et l'anhydride carbonique. Les deux fils étaient alors placés dans une boîte en zinc, fermée à sa partie supérieure par une glace et munie de fenêtres latérales pour permettre de voir l'intérieur; l'anhydride carbonique arrivait par le fond. Le tableau suivant donne les résultats obtenus dans ces expériences; V désigne le potentiel dans l'air, V' le potentiel dans l'anhydride carbonique.

I =	3,50	3,84	4,05	4,40	5,9	5,17
V =	0,87	1,11	2,51	4,12	5,28	»
V' =	0,26	0,83	1,93	4,32	»	5,20

La courbe représentative des résultats relatifs à l'air diffère peu de celle qui représente les résultats des expériences indiquées en premier lieu. La courbe relative à CO^2 a tous ses points, sauf celui qui correspond à une intensité de 4,41 ampères, au-dessous de la courbe relative à l'air. Les deux gaz ne se comportent donc pas de la même manière. Leur différence d'action est encore plus accusée lorsque le fil traversé par le courant n'est encore qu'à une température peu élevée. C'est ce que montre le tableau suivant qui donne les valeurs de V observées *t* minutes après le commencement du passage d'un courant de 3,85 ampères; dans ce tableau V et V' sont exprimés en divisions de l'échelle.

t =	1	3	5	7	9	11	13	15
V =	2,2	5,7	8,5	11,0	12,5	13,5	14,2	15,0
V' =	0,7	1,9	3,0	4,1	5,1	5,6	6,4	7,3

(¹) *Il nuovo Cimento*. 3ᵉ série, t. XXXVI, p. 297-314; décembre 1894.

Une dernière série d'expériences préliminaires fut entreprise pour rechercher l'influence de la position du fil sur la valeur du potentiel observé. De nombreuses expériences faites, pour plus de commodité, avec un fil incandescent de 20 mm. seulement, ont montré que, dans de larges limites, le potentiel final que prend le fil isolé ne varie pas sensiblement avec la distance lorsqu'il est placé *au-dessus* du fil incandescent et que celui-ci est parcouru par un courant suffisamment intense : il n'y a de changé que le temps nécessaire pour atteindre ce potentiel maximum, temps qui est d'autant plus long que la distance est plus grande. Quand au contraire le fil isolé est placé *au-dessous* du fil incancescent la valeur du potentiel diminue rapidement avec la distance. Le tableau I donne les valeurs de V, exprimées en divisions de l'échelle, à différents instants après qu'un courant de 5,02 ampères traverse le fil et pour différentes distances du fil isolé au-dessus et au-dessous du fil incandescent.

Tableau I.

INFLUENCE DE LA POSITION DU FIL SUR LA VALEUR DU POTENTIEL A DIFFÉRENTS INSTANTS.

FIL ISOLÉ, EN DESSUS						FIL ISOLÉ, EN DESSOUS				
t	DISTANCE EN MILLIMÈTRES					*t*	DISTANCE EN MILLIMÈTRES			
	1	4	8	13	40		1	4	8	12
1m	76	67,5	55	18,5	19	1m	78,2	31,3	9,5	2,0
3	78	72,0	67,5	37,9	33	3	79,8	45,8	18,5	4,5
4	78,3	72,0	69,0	43,3	36,5	4	80,5	48,9	21,0	5,0
6	»	»	»	48,5	39,2	6	81,2	49,8	24,4	6,8
9	»	»	»	52,1	42,0	9	81,2	49,8	25,3	7,6
12	»	»	»	53,5	42,8	12	»	»	25,2	7,6
15	»	»	»	54,0	42,8	15	»	»	25,2	7,0

Dans le tableau II sont indiqués les potentiels maxima, exprimés en volts, pour diverses distances des fils.

Tableau II.

INFLUENCE DE LA POSITION DU FIL SUR LE POTENTIEL MAXIMUM.

FIL ISOLÉ, EN DESSUS		FIL ISOLÉ, EN DESSOUS	
Distance	V	Distance	V
1mm	4,3	1	4,7
4	3,9	4	2,8
8	3,8	8	1,1
13	3,2	12	0,4
17	3,2	»	»
20	3,2	»	»
40	2,9	»	»

Ce dernier tableau montre que la distance du fil isolé au fil incandescent peut varier entre d'assez larges limites sans que la valeur du potentiel maximum varie, pourvu que le fil isolé soit au-dessus de l'autre. Aussi, dans leurs expériences définitives, les auteurs ont-ils placé ces fils à une distance assez grande l'un de l'autre pour n'avoir pas à se préoccuper de la variation de distance résultant de la courbure que prend le fil rougi par le courant.

La figure 1 représente l'appareil employé dans ces expériences. Il se compose d'un ballon de verre muni de quatre tubulures. Les deux tubulures horizontales A et B livrent passage à deux grosses tiges de cuivre entre lesquelles est tendu un fil de platine *ab* de 2,2 cm. de longueur. Dans la tubulure supérieure s'engagent un tube de verre *t* servant à l'arrivée ou à la sortie du gaz expérimenté et un second tube *pq* protégeant le conducteur qui soutient une petite lame de platine isolée *mn*. A travers la tubulure inférieure D passent un tube de verre *t'* servant à l'introduction ou à la sortie du gaz et un fil de platine *r*. La surface intérieure du ballon

est argentée et cette couche métallique est mise en communication avec le sol par le fil *r*. Sa surface extérieure est vernie à la gomme laque pour obtenir un meilleur isolement. Comme dans les expériences précédentes, on s'arrange de manière que la différence de

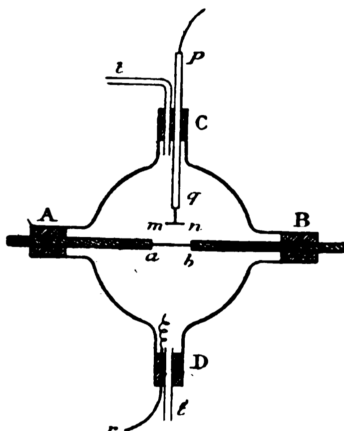


Fig. 1. — Appareil employé pour l'étude de la transmission de l'électricité.

potentiel entre le milieu du fil *ab* et le sol soit d'environ 4 volts. Le tableau III donne les résultats obtenus avec l'air, l'anhydride carbonique et l'hydrogène purs et secs. V indique le potentiel maximum de la lame isolée en volts ; I l'intensité du courant correspondant en ampères.

Tableau III.

POTENTIELS MAXIMA POUR DIVERSES VALEURS DE L'INTENSITÉ DU COURANT.

AIR		CO^2		H	
I	V	I	V	I	V
0,93	0,11	1,52	0,75	3,38	0,39
1,25	0,19	2,08	3,25	3,50	0,64
1,64	1,37	2,28	4,00	3,67	1,22
1,88	3.28	2,40	4,85	3,85	1,75
2,10	4,22	2,50	4,96	4,02	2,48
2,25	4,86	2,70	4,76	4,15	2,90
2,50	4,84	2,88	4,54	4,27	4.15
2,88	4,67	»	»	4,48	4,24
»	»	»	»	4,59	4,00
«	»	»	»	4,80	3,83

Les nombres de ce tableau montrent que, dans les trois gaz, le potentiel maximum que prend la lame de platine isolée croît d'abord en même temps que l'intensité du courant traversant le fil incandescent, passe par un maximum et diminue ensuite. Pour une même valeur de l'intensité, la valeur du potentiel est plus petite avec l'anhydride carbonique qu'avec l'air et beaucoup plus petite avec l'hydrogène qu'avec l'anhydride carbonique. Tandis que la valeur maxima du potentiel est plus grande avec l'anhydride carbonique qu'avec l'air, elle est plus petite avec l'hydrogène qu'avec les deux autres gaz.

A cause de l'inégalité des conductibilités thermiques des trois gaz considérés, la température du fil de platine n'est pas la même, pour une même intensité du courant, suivant qu'on opère dans un gaz ou dans l'autre. Les auteurs ont néanmoins pu comparer les potentiels que prend la lame de platine isolée pour une même température du fil par un procédé indirect.

Ils ont mesuré la résistance R du fil de platine *ab* pour diverses valeurs de l'intensité du courant qui le traverse, ce fil étant plongé d'abord dans l'air, puis dans l'hydrogène (des mesures n'ont pu être faites avec l'anhydride carbonique, le fil s'étant fondu). Ils ont ainsi obtenu deux courbes leur donnant la valeur de la résistance en fonction de l'intensité du courant. Soit I_H l'intensité du courant à laquelle, d'après les expériences antérieures, correspond un potentiel V_H du fil isolé plongé dans l'hydrogène. L'une des courbes précédentes permet de déterminer la résistance R correspondante, et l'autre permet de déterminer, par une opération inverse, l'intensité I_A du courant donnant la même résistance dans l'air. Connaissant cette intensité, la courbe déduite des deux premières colonnes du tableau III donne le potentiel V_A que prendrait le fil isolé dans l'air pour cette intensité du courant. Comme à des valeurs égales de la résistance du fil *ab* doivent correspondre des températures égales de ce fil, les valeurs de V_H et de V_A ainsi déterminées se rapportent à une même température.

Dans les cinq premières colonnes du ta-

bleau IV sont indiqués les résultats obtenus par ce mode de détermination. Les nombres de la dernière colonne donnent les potentiels V_c que l'on aurait dans le cas de l'anhydride carbonique. Mais, à cause de l'accident survenu au fil et que nous signalions plus haut, la courbe de la résistance en fonction de l'intensité a dû être déterminée à l'aide d'un fil autre que celui qui avait servi à étudier la variation du potentiel en fonction de l'intensité. Les nombres de cette colonne peuvent donc ne pas correspondre rigoureusement à ceux des colonnes 2 et 5.

Tableau IV.

VALEURS DES POTENTIELS MAXIMA CORRESPONDANT A UNE MÊME TEMPÉRATURE.

I_H	V_H	R	I_A	V_A	V_c
3,4	0,38	0,486	1,31	0,27	»
3,6	0,93	0,518	1,40	0,48	»
3,8	1,57	0,552	1,50	0,78	0,65
4,0	2,38	0,585	1,61	1,25	1,00
4,2	3,59	0,617	1,73	2,00	1,48
4,3	4,14	0,634	1,81	2,60	1,80
4,4	4,22	0,651	1,91	3,33	2,25
4,6	4,05	0,685	2,09	4,28	3,13
4,8	3,82	0,718	2,28	4,88	4,05
»	»	0,736	2,40	4,87	4,83
»	»	0,754	2,50	—	4,98
»	»	0,770	2,60	4,78	4,89
»	»	0,795	2,80	4,70	4,64
»	»	0,808	2,90	4,65	4,52

Des résultats contenus dans ce tableau, les auteurs déduisent les conclusions suivantes :

« L'hydrogène se montre plus apte que les deux autres gaz à transporter l'électricité positive. Le maximum d'électrisation du conducteur isolé est atteint plus tôt. La résistance correspondant à ce maximum est 0,65 ohm. Pour l'air, la résistance correspondant au maximum d'électrisation est 0,73, et pour l'anhydride carbonique, 0,75 environ.

« Les particules gazeuses qui partent du fil de platine incandescent ont une électrisation positive d'environ 0,25 volt (différence entre le maximum de V_H, 4,25, et le potentiel du milieu du fil, 4 volts) ; celles de l'anhydride carbonique et de l'air atteignent une électrisation plus élevée, environ 1 volt. Dans le cas de l'hydrogène, l'électrisation des particules gazeuses change de signe quand la température est suffisamment élevée, le potentiel du fil isolé étant alors plus faible que le potentiel moyen du fil incandescent. »

J. B.

Instrument pour indiquer et mesurer la différence de phase entre la force électromotrice et le courant dans un système de courants alternatifs, par P. Cardew (¹).

Soient T la période d'une force électromotrice alternative, V le voltage efficace et C le courant efficace. Si, par suite de la présence d'une capacité ou d'une self-induction dans le circuit, le courant s'annule un temps t après l'instant où la force électromotrice passe par zéro, la puissance électrique est donnée par l'expression :

$$V \times C \times \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

Si l'on établit un contact instantané à des intervalles exactement synchrones avec la période de la force électromotrice pour compléter le circuit d'un galvanomètre approprié et convenablement relié, et si ce contact peut être produit à un instant donné de la période, l'instant où la force électromotrice ou le courant passe par zéro d'une valeur positive à une valeur négative, ou *vice versa*, peut être déterminé avec précision.

Le contact n'a pas besoin d'être absolument instantané si l'aiguille du galvanomètre a une inertie suffisante, et il n'est pas besoin de le rétablir à chaque période, pourvu que la période des contacts soit un multiple exact de la période d'alternance.

« D'après ces principes, on a construit l'appareil suivant destiné à la mesure de l'angle $2\pi \frac{t}{T}$:

« Un cylindre de bois ou d'ébonite est mis en mouvement synchroniquement avec le générateur du courant alternatif, qui fait une ré-

(¹) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVI, p. 250-252.

volution par période complète, soit en le reliant directement avec l'axe de ce générateur à la façon d'un compte-tours, soit au moyen d'un moteur synchrone.

« Sur la surface du cylindre est fixé, parallèlement à l'axe, un fil ou une bande de métal ; ce fil ou cette bande est relié à l'axe ou à un anneau de contact.

« Deux ressorts isolés pressent contre la surface du cylindre ; l'un d'eux, le balai des volts, V, est fixé à un limbe divisé en degrés, centré sur l'axe de rotation, capable de tourner autour de cet axe et muni d'un arrêt et d'une vis de rappel. L'autre balai, le balai du courant C, est attaché à un index mobile sur le limbe et muni aussi d'un arrêt et d'une vis de rappel ; pour des mesures précises, cet index peut être muni d'un vernier.

« Les balais sont disposés de manière à se trouver simultanément en contact avec le fil fixé sur le cylindre quand l'index est exactement au zéro du limbe, le cylindre étant en mouvement. On le vérifie avec une pile et un galvanomètre. Si le fil a une épaisseur appréciable l'ajustement des balais doit être tel que la déviation galvanométrique soit maxima.

« Les connexions sont faites de la façon suivante : Une borne de l'alternateur est réunie à l'axe ou à l'anneau de contact du cylindre au moyen d'un contact ordinaire frottant. Le balai V est relié à un galvanomètre apériodique sensible V, qui peut être shunté à volonté, et à des bobines d'impédance suffisante pour shunter le galvanomètre sans altérer la force électromotrice totale ; il est également relié à l'autre borne de l'alternateur. Le balai C est relié, par une résistance qui peut être mise hors circuit, à un galvanomètre de faible résistance C, et de là à un point du conducteur relié à l'axe du cylindre, ce point étant à peu de distance de cette connexion afin qu'une courte portion de ce conducteur serve de shunt au galvanomètre.

« Pour opérer on ajuste d'abord le limbe et le balai V jusqu'à ce que le galvanomètre V reste au zéro ; ensuite on ajuste l'index et le balai C jusqu'à ce que le galvanomètre C reste au zéro. L'angle indiqué sur le limbe est alors exactement $2\pi\frac{t}{T}$, donnant ainsi la différence de phase entre la force électromotrice et le courant.

« On a là une méthode de zéro dans laquelle la self-induction des circuits des galvanomètres n'affecte pas les résultats. »

J. B.

Valeur de la perméabilité magnétique pour les oscillations électriques rapides, par E. St. John [1].

Dans un récent mémoire [2], l'auteur donnait les nombres 430, 389 et 336 pour la perméabilité du fer de trois fils avec lesquels il avait étudié la propagation des oscillations. Depuis cette publication l'auteur s'est aperçu d'une erreur de calcul, et en réalité, les nombres corrects, déduit des résultats donnés par les expériences, sont quatre fois plus petits que les précédents, c'est-à-dire environ 107, 97 et 83,5.

L'auteur fait remarquer que ces dernières valeurs concordent bien avec celles qu'a données tout récemment M. Ignaz Klemencic [3], et qui sont

$\mu = 118$ pour le fer doux,
$\mu = 106$ à 115 pour l'acier,

pour des oscillations de $1/1000000$ de seconde.

Dans son ouvrage, *Electrical Papers*, M. Heaviside fait observer (T. I, p. 361) que la perméabilité magnétique du fer est excessivement variable, mais qu'elle paraît avoir pour valeur moyenne $\mu = 100$. Cette observation semble donc confirmée par les résultats des expériences de M. Klemencic et de celles de M. St. John.

J. B.

---

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 297 ; mars 1895.

(2) E. St. John. *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 425. *L'Éclairage électrique*, t. I, p. 37.

(3) Ignaz Klemencic. *Wied. Ann.*, t. LIII, p. 707-731 ; 1894.

Sur l'existence d'une anomalie de la conductibilité électrique des dissolutions salines à 4 degrés, par C. Deguisne ([1]).

Ayant analysé le travail de l'auteur ([2]) et les critiques du Dr Lussana ([3]), nous croyons devoir signaler la réponse de M. Deguisne à ces critiques.

M. Deguisne montre que la conclusion qu'il énonçait (la non-existence d'une anomalie à 4 degrés), ne peut provenir, comme l'indiquait M. Lussana, d'une mauvaise interprétation des résultats des expériences. Par suite, ces résultats ne peuvent constituer une « confirmation éclatante » de la conclusion contraire à laquelle M. Lussana était parvenu il y a quelques années.

La question se résume donc ainsi : ou les résultats expérimentaux de M. Deguisne sont inexacts, ou bien ce sont ceux de M. Lussana qui sont erronés, et de nouvelles expériences s'imposent pour trancher le différend.

A l'appui de sa conclusion, M. Deguisne fait observer que la conductibilité électrique de l'eau pure ne présente, d'après MM. Kohlrausch et Heydweiler ([4]), aucune anomalie dans le voisinage de la température de son maximum de densité.

J. B.

Sur le changement de longueur d'un fil de fer doux placé dans un champ magnétique uniforme par B. Rosing ([5]).

L'an dernier, M. Nagaoka publiait les résultats de ses recherches sur l'hystérésis dans l'allongement du nickel et du fer sous l'influence de l'aimantation ([6]). A ce sujet, M. Rosing publie l'extrait suivant d'un Mémoire plus étendu paru dans le *Journal de la Société physico-chimique russe* (t. XXVI, p. 253-264) :

« Depuis l'automne de 1891, j'étudie la même question et les résultats que j'ai obtenus concordent en général avec ceux de M. Nagaoka. Les quelques divergences que présentent nos observations peuvent d'ailleurs être expliquées par les différences des conditions des expériences ([1]). Ma méthode repose

TABLEAU I.

ALLONGEMENT D'UN FIL DE FER PAR L'AIMANTATION

H (C. G. S)	$\frac{\partial l}{l} \times 10^6$	I (C. G. S)
67,4	— 137,1	1495
50,5	— 107,0	1495
33,7	— 62,2	1448
25,3	— 28,6	1395
16,9	— 1,7	1283
13,5	+ 13,6	1206
8,4	+ 24,3	1142
5,1	+ 29,5	1065
3,4	+ 29,5	1012
1,7	+ 26,6	965
0	+ 21,7	920
— 1,7	+ 13,9	683
— 3,4	+ 3,8	312
— 5,1	+ 7,8	— 418
— 6,7	+ 12,2	— 559
— 10,1	+ 15,1	— 900
— 13,5	+ 11,3	— 1060
— 16,9	+ 4,1	— 1107
— 25,3	— 21,4	— 1219
— 33,7	— 45,1	— 1272
— 50,5	— 88,8	— 1378
— 67,4	— 124,7	— 1454

sur l'emploi des franges d'interférences et d'un levier sensible. Sa sensibilité est très approximativement la même que celle de la méthode de M. Nagaoka : une division de l'échelle du microscope correspond à un changement de longueur de 11×10^{-7} cm. L'influence de la température est compensée par une suspension bimétallique particulière du levier sensible.

« Les résultats que j'ai obtenus sont donnés par le tableau 1, où H désigne la force

([1]) *Il Nuovo Cimento* [4] t. I, p. 59-61 ; janvier 1895.

([2]) DEGUISNE. *Wied. Ann.*, t. LII, p. 604 ; *Eclair. électr.*, t. I, p. 428.

([3]) S. LUSSANA. *Nuovo Cim*, [3] t. XXXVI ; *Eclair. électr.*, t. I, p. 662.

([4]) KOHLRAUSCH et HEYDWEILER. *Sitz. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin ;* 1894, p. 295.

([5]) *Philosophical Magazine* t. XXXIX, p. 226 ; février 1895.

([6]) NAGAOKA, *Phil. Mag.* t. XXXVII, p. 131. — *La Lum. Elect.* t. LI, p. 337.

([1]) « Les barres de fer de M. Nagaoka étaient relativement épaisses et courtes, le rapport de leur longueur à leur diamètre n'excédant pas 70, tandis que pour mon fil, ce rapport était de 494 environ. En outre, ce fil était tendu. »

magnétique en unités C.G.S ; $\frac{\delta l}{l}$ l'allongement par unité de longueur de mon fil de fer (moyenne de plusieurs séries d'expériences) ; et I son intensité d'aimantation.

« Des vues théoriques nous conduisent à admettre la relation suivante entre $\frac{\delta l}{l}$ et les valeurs correspondantes de H et de I :

$$\frac{\delta l}{l} = aI^2 + bIH + cH^2 \qquad (1)$$

« Mon ami M. Weinberg a bien voulu se charger du calcul des coefficients de cette formule par la méthode des moindres carrés. Il a trouvé .

$$a = 4,4834 \times 10^{-11}, \qquad b = -305,023 \times 10^{-11},$$

$$c = 3015,31 \times 10^{-11}$$

« La courbe ponctuée de la figure 1 représente la relation entre $\frac{\delta l}{l}$ et H calculée par la

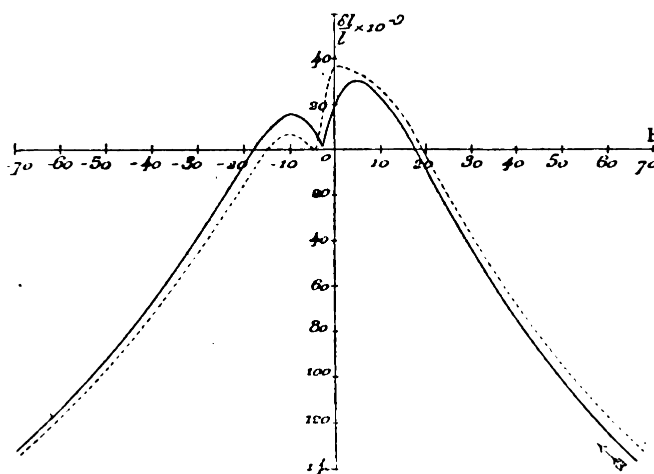


Fig. 1. — Courbe des changements de longueur d'un fil de de fer doux dans un champ magnétique uniforme.

formule (1), et la courbe pleine représente les résultats des observations.

« La différence moyenne entre les valeurs de $\frac{\delta l}{l}$ observées et calculées est égale à environ $6,7 \times 10^{-9}$, soit environ 3 p. 100 de la valeur maxima. Cette différence est trop grande pour qu'on puisse regarder la formule (1) comme exacte, mais à titre de *première approximation*, cette formule peut être acceptée. Aussi puis-je exprimer de la manière suivante les résultats de mes recherches :

« Un fil de fer doux de 39,5 cm. de long et de 0,083 mm. d'épaisseur, soumis à une tension longitudinale de 380 gr. par mm² et placé dans un solénoïde magnétisant de 86 cm. de long et de 3,85 cm² de section moyenne, éprouve, sous l'influence d'une aimantation cyclique, un changement de longueur pouvant être exprimé, comme première approximation, par la formule (1). »

J. B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — (*Traction*). Voici le texte d'un vœu relatif à la traction des tramways électriques de la Seine, émis dernièrement par le Conseil général :

« Le Conseil, considérant qu'il importe de multiplier les départs sur les lignes de tramways et d'assurer le transport du plus grand nombre

possible de voyageurs, à certaines heures de la journée, et certains jours de fête ;

« Considérant que le seul moyen de satisfaire à ce besoin, c'est de multiplier les moteurs mécaniques sur les lignes de tramways,

« Renouvelle le vœu : 1° Que le service du contrôle suive avec le plus grand soin toutes les expériences concernant le perfectionnement de la traction mécanique soit par l'électricité, soit par l'air comprimé, soit par des machines ne dégageant ni fumée ni odeur ; 2° Que, sur les lignes où la circulation et où le nombre des voyageurs le permettent, la traction mécanique remplace la traction animale. »

(*Eclairage*). Le budget pour l'éclairage à Paris en 1895 est constitué comme suit :

Eclairage électrique de la voie publique, 433.705 francs.

Eclairage électrique des promenades, 70.400 fr.

Amélioration et extension de l'éclairage électrique sur la voie publique, 20.000 francs.

Cette dernière somme sera employée à l'éclairage électrique du square de la tour Saint-Jacques.

Eclairage à la charge de la Ville dans les halles et marchés, abattoirs, entrepôts, mairies, écoles, maisons communales et autres édifices municipaux, 571.208 francs.

Les dépenses d'éclairage, non compris l'entretien des appareils, se divisent comme suit, à Paris :

Eclairage à l'électricité : 1.095.313 francs, soit 17,5 o/o du total.

Eclairage au gaz et à l'huile : 5.518.500 francs, soit 82,5 o/o du total.

Alger. — La traction électrique va faire prochainement son apparition en Algérie, et les travaux seront commencés par la Compagnie Thomson-Houston aussitôt que le Conseil d'Etat aura rendu son arrêt autorisant la ville d'Alger à rétrocéder sa concession à M. Dalaise.

La ligne du tramway électrique reliera l'hôpital du Dey à Mustapha et aura une longueur de 4,5 kilomètres. Elle sera desservie par 14 voitures munies chacune de deux moteurs.

Châlons. — La question de l'établissement d'un réseau de tramways électriques à Châlons, qui a été récemment posée devant le Conseil municipal, y a été très favorablement accueillie. Cela nous fait espérer qu'elle sera promptement résolue dans le sens de l'affirmative, à la grande satisfaction de la population châlonnaise, qui serait heureuse de pouvoir enfin, grâce à ce mode de locomotion tout moderne, se faire véhiculer à la fois plus rapidement et avec moins de secousses qu'actuellement.

Saint-Germain-en-Laye. — Plusieurs propositions tendant à l'éclairage électrique de cette ville ont été présentées en ces derniers temps à l'administration municipale. L'une des dernières est celle de M. de Lowenstein, électricien à Paris, dans laquelle le demandeur en concession propose à l'administration cette condition que si, dans un délai de six mois à dater de l'autorisation définitive les travaux n'étaient pas commencés, la ville pourrait prononcer de plein droit la déchéance du concessionnaire.

Le Havre. — Il y a quelques jours, ont eu lieu, sous la direction de M. Delachanal, ingénieur de la Chambre de Commerce, des essais de grues mues par l'électricité. Les résultats obtenus dans ces essais ont été très remarquables à tous les points de vue.

Le courant actionnant la dynamo réceptrice à petite vitesse avait, comme celui des tramways de la ville, une différence de potentiel de 500 volts.

D'après les expériences, une benne peut faire un voyage complet en une cinquantaine de secondes, c'est-à-dire que prise sur le quai, la benne va, après avoir décrit une courbe dans l'espace, se placer sur le pont du navire, est décrochée, remplacée par une autre qui est déposée à terre dans ce court espace de temps.

En tenant compte de certaines pertes de temps, inévitables à bord d'un navire encombré de marchandises, on peut compter sur un voyage par minute. Sous ce rapport, il n'y a pas grand avantage sur les grues à vapeur, mais il faut noter que nulle secousse ne se produit, la traction est d'une douceur extrême, et c'est avec une précision remarquable que le conducteur choisit son point d'arrêt.

Les accidents qui se produisent journellement avec les grues à vapeur : bris d'engrenages, de chaînes, de crochets, ne se présentent que fort rarement, pour ne pas dire jamais, avec les grues électriques.

La dépense, pour une journée de dix heures,

peut être évaluée, suivant la *Revue de l'Electricité*, à 20 francs, somme à peu près égale au coût de la journée des grues à vapeur, mais il convient de remarquer qu'on n'a pas à faire de provision de combustible et que, de ce chef, il y a économie de manutention. De plus, les inconvénients ordinaires, rupture de tuyaux de prises de vapeur, etc., ne sont pas à redouter avec les nouveaux engins.

Saint-Sever (Landes). — MM. Dorian frères ont jeté les premières bases d'un devis d'installation simultanée de l'éclairage électrique et d'une distribution d'eau potable.

D'après l'*Etincelle Electrique*, le projet comprend l'acquisition d'un moulin sur le Bahus, la fourniture du matériel nécessaire à l'élévation et à la filtration des eaux, celle d'un moteur à vapeur destiné à suppléer le moteur hydraulique en cas de sécheresse et des appareils et canalisations électriques avec leurs accessoires. 77.000 francs environ seraient nécessaires, et les dépenses annuelles de fonctionnement ne seraient pas supérieures à 6.000 francs. Comme d'autre part Saint-Sever dépense déjà annuellement 3.000 francs pour son éclairage public, il suffirait de trouver des abonnés pour une centaine de bouches d'eau et une cinquantaine de lampes pour équilibrer ces dépenses.

Ce projet viendra prochainement en discussion devant le Conseil municipal.

Cours de la Faculté des Sciences à Paris. — Pendant le second semestre de l'année 1895, les Cours et conférences suivants auront lieu à la Sorbonne : les lundis et jeudis, à dix heures et demie, M. Poincarré professeur de Calcul des probabilités et Physique mathématique, traitera de l'Electrostatique ; les mardis et samedis à deux heures, M. Lippmann, professeur de Physique, traitera de l'électricité ; les jeudis à quatre heures, M. Pellat, professeur adjoint, chargé du Cours de physique générale, traitera de l'acoustique et de l'optique. (Polarisation, optique cristalline.)

Incendie de la station centrale de Kensington (Londres). — Dans la soirée du 12 février dernier, un incendie a éclaté à la station centrale de Kensington Court. Le feu a pris rapidement de l'extension, mais grâce à la construction solide du bâtiment il a pu être localisé aux étages supérieurs. Dans cette partie habitait un des mécaniciens avec sa famille. Deux de ses enfants ont pu être sauvés, le troisième a malheureusement succombé à l'asphyxie.

A un moment donné, une certaine quantité de liquide combustible prit feu ; mais la réserve principale de ce combustible, quoique emmagasinée dans un réservoir en tôle exposé au feu, a été préservée.

M. Crompton, dont la maison d'habitation touche à l'usine, a été un des premiers sur le théâtre de l'incendie ; il a dirigé avec beaucoup de sang-froid la brigade de pompiers. Pendant que celle-ci était à l'œuvre, on a pu couper les circuits des dynamos, et la batterie d'accumulateurs a assuré la continuation du service de l'usine, car, chose remarquable, malgré la situation critique de l'usine, les abonnés n'ont pu s'apercevoir de rien. Il y a eu seulement une extinction partielle sur le conducteur négatif dans une rue ou deux, et toute la nuit le réseau a été alimenté.

On pouvait craindre que la batterie ne suffit plus à assurer à elle seule le débit, car les pompiers y envoyaient d'abondants jets d'eau. On évita toute interruption du service en reliant le réseau de Kensington avec celui de la station de Knightsbridge.

Au milieu des flots d'eau et d'acide qui inondaient l'usine, MM. Crompton et Miller examinèrent les machines, firent parer aux plus gros dérangements, et le lendemain matin l'usine reprit son service.

La batterie d'accumulateurs est entièrement à reconstruire, et les dégâts sont évalués à 150.000 francs.

Dans la foule qui s'était amassée devant l'usine beaucoup étaient venus pour savoir s'ils ne devaient pas éteindre leurs lampes « crainte d'explosion » ; la batterie d'accumulateurs leur paraissait, en effet, aussi dangereuse qu'un gazomètre !

L'utilisation des forces hydrauliques en Amérique. — D'après le *Mining World*, il serait question d'une installation électrique grandiose à établir aux Barrier Rocks, sur le Colorado, à environ 30 kilomètres en amont de Yuma, dans l'Arizona (Etats-Unis). L'usine génératrice qui serait érigée

à cet effet, la plus grande des Etats-Unis, fournirait la force motrice à 500 mines d'or, d'argent et de plomb situées dans un rayon d'environ 50 kilomètres ; elle alimenterait d'eau un grand nombre de placers, et pomperait de l'eau pour l'irrigation de plus de deux millions d'hectares (?) de terrains d'alluvions.

Une machine génératrice de 1.000 kilowatts, naturellement « la plus grande des Etats-Unis », sera employée. D'après les évaluations, 50.000 chevaux pourraient être captés, et l'on pense que deux ans après l'installation de cette usine gigantesque, des milliers de machines pour la préparation des minerais et pour l'extraction de l'or seront actionnées électriquement.

La transmission de force du Niagara. — La compagnie des chutes du Niagara rencontre dans l'exécution de son plan, certaines difficultés qui, il est vrai, ne la découragent pas. Comme il s'agit en grande partie de transmettre l'énergie électrique à la ville de Buffalo, les autorités de cette ville ont voulu imposer à la Compagnie des conditions désavantageuses pour elle. Mais entre temps les travaux d'installation de l'usine de 15.000 chevaux à distribuer dans les environs immédiats des chutes ont progressé, et des établissements se fondent qui pourraient bien, si Buffalo ne diminue pas ses prétentions, former bientôt un « ville » nouvelle concurrente.

Grands transports électriques de force motrice. — D'après un correspondant de l'*Electrican*, on se propose d'utiliser aux Etats-Unis les puissances hydrauliques suivantes : 50.000 chevaux près de Harrisbourg, en Pensylvanie ; 30.000 chevaux près d'Atlanta ; 25.000 chevaux près de Saint-Louis ; et 15.000 chevaux à une vingtaine de kilomètres de Washington.

Génératrices combinées, à courants continus et à courants alternatifs. — La Compagnie Westinghouse construit des dynamos qui fournissent à la fois un courant biphasé et un courant continu. Les prises de courant se font par des balais séparés. Un des ingénieurs de cette compagnie, M. W.-S. Rugg a essayé de grouper trois de ces dynamos en parallèle. Le courant alternatif était fourni à 385 volts et le courant continu à 500 volts. Tous les enroulements alternatifs furent groupés en parallèle à une série de barres omnibus et tous les enroulement continus à une autre série de barres omnibus.

L'expérience a, paraît-il, parfaitement réussi.

Chambres syndicales des industries électriques. — Réunion du mardi 19 *février* 1895, sous la présidence de M. Harlé.

Des demandes nouvelles d'adhésion au Syndicat sont présentées et examinées. Elles sont favorablement accueillies.

A la suite de la démarche faite auprès de lui par le Président, pour l'inviter au banquet, M. de Selves, directeur général des Postes et Télégraphes, lui a fait savoir qu'un deuil récent ne lui permettait pas d'accepter.

La Chambre regrette vivement l'absence de M. de Selves et le motif de cette absence ; elle charge son Président d'exprimer à M. de Selves ses regrets en même temps que sa sympathie.

Lecture est donnée d'une lettre de M. Sicre, un des membres du Syndicat, propriétaire du Secteur carcassonnais d'éclairage électrique. M. Sicre pose dans sa lettre des questions sur la responsabilité en matière d'accidents. Une autre lettre récemment reçue de la Société dijonnaise d'électricité relative à des autorisations de voirie, est actuellement communiquée.

Pour l'examen de ces questions il conviendra de constituer une commission spéciale. Le moment n'est pas encore venu de nommer les membres de cette commission à cause du prochain renouvellement de la Chambre. Cette nomination sera à l'ordre du jour d'une des prochaines séances.

Dans sa dernière réunion, la Chambre, pour ne pas créer un précédent onéreux, a dû refuser d'allouer les primes d'encouragement qui lui étaient demandées pour des ouvriers méritants et laisser ce soin aux patrons desdits ouvriers ; mais, s'il ne lui est pas possible de prélever sur ses ressources les sommes indiquées, elle croit cependant que distribuées au nom du Syndicat, dans une solennité comme son prochain banquet par exemple, ces gratifications auraient plus de prix pour les bénéficiaires.

Elle accepte de prendre à la charge du Syndicat l'invitation au banquet des ouvriers faisant

partie de la catégorie indiquée précédemment et dont les patrons accepteraient cette manière de faire.

La Chambre actuelle arrivant à l'expiration de son mandat, des élections pour son renouvellement auront lieu à la prochaine assemblée générale.

Le nombre des membres est de vingt (minimum statutaire), depuis de longues années. Une augmentation très sensible du nombre des adhérents au Syndicat s'est produite depuis que la présente Chambre est en exercice, et il paraît logique de proportionner le nombre des membres de la Chambre à celui des adhérents. C'est pourquoi, sur l'initiative de son Président, la Chambre décide de proposer à l'Assemblée générale la nomination d'une Chambre syndicale composée de trente membres.

Conférences sur l'électricité et ses applications. — Voici le tableau des conférences qui seront faites au Laboratoire central d'Electricité pendant le premier semestre 1895, à 9 h. 30 m. du matin.

Mercredi.	13	février.	Télégraphie	H. Thomas.
Lundi . .	18	»	Téléphonie.	De la Touanne.
Mercredi.	20	»	Télégraphie	H. Thomas.
Mercredi.	27	»	»	»
Jeudi. . .	28	»	Téléphonie	De la Touanne.
Lundi . .	4	mars .	»	»
Jeudi. . .	21	»	Constr. des dynamos.	R.-V. Picou.
Lundi . .	25	»	» »	»
Jeudi. . .	28	»	» »	»
Lundi . .	1er	avril. .	» »	»
Jeudi. . .	4	»	» »	»
Lundi . .	8	»	» »	»
Lundi . .	29	»	Applications de l'électricité aux chemins de fer. . . .	E. Sartiaux.
Jeudi. . .	2	mai. .	» »	»
Lundi . .	6	»	» »	»
Jeudi. . .	9	»	Applications mécan. de l'électricité . .	A. Hillairet.
Lundi . .	13	»	» »	»
Jeudi. . .	16	»	» »	»
Lundi . .	20	»	» »	»
Lundi . .	27	»	» »	»
Jeudi. . .	30	»	» »	»
Jeudi. . .	6	juin. .	» »	»
Lundi . .	10	»	Montage électrique.	A. Cochet.
Jeudi. . .	13	»	» »	»
Lundi . .	17	»	» »	»
Jeudi. . .	20	»	» »	»
Lundi . .	24	»	Electrochimie. . . .	P. Janet.
Jeudi. . .	27	»	»	»
Lundi . .	1er	juillet.	»	»
Jeudi. . .	4	»	»	»

Les membres de la Société internationale des Electriciens qui désirent suivre ces conférences sont invités à retirer au Secrétariat de la Société, une carte spéciale qui leur sera délivrée sur simple demande verbale.

Le téléphone en Allemagne. — 250 localités sont maintenant reliées téléphoniquement à la capitale. La ligne Berlin-Memel a plus de 1.000 kilomètres de longueur. Le réseau télégraphique et téléphonique allemand s'est accru l'année dernière de 7.400 kilomètres de lignes et de 55.200 kilomètres de conducteurs. Les 100.000 postes téléphoniques sont répartis comme suit entre les différentes villes : Berlin, 22.070 abonnés (à peu près autant que la France entière); Hambourg, 9.000 ; Dresde, 3.267 ; Leipzig, 3.290 ; Cologne, 2.717 ; Francfort, 2.674 ; et Breslau, 2.204.

L'électricité en Alsace. — On sait que la Société générale d'Electricité de Berlin est chargée d'établir à Strasbourg une station centrale d'énergie électrique. L'avancement des travaux permet d'espérer que cette usine pourra être inaugurée au courant de l'été prochain.

L'énergie électrique sera vendue 10 centimes l'hectowatt-heure pour l'éclairage, et 2,5 centimes pour la force motrice et le chauffage. Des rabais variant de 5 à 50 0/0 seront encore consentis sur ces prix selon l'importance des consommations ; ces prix seront d'ailleurs abaissés de 5 à 20 0/0 dès que les recettes brutes de la station dépasseront 500.000 francs.

La Compagnie des tramways de Strasbourg songe à introduire la traction électrique sur ses lignes. Pour trois de ces lignes, la Société générale d'électricité va incessamment opérer cette transformation, en appliquant son système à conducteur aérien.

L'électricité à Berlin. — Les Berliner Elektricitaets-Werke viennent de décider d'étendre considérablement leur canalisation et de porter à 2.000 chevaux la puissance de leur production par l'adjonction de deux nouvelles dynamos à vapeur.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 9 Mars 1895. N° 10.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

PROPAGATION DES COURANTS VARIABLES DANS LES CONDUCTEURS

Les valeurs auxquelles on parvient en calculant la self-induction d'un conducteur varient, comme on sait, avec les hypothèses que l'on fait sur la manière dont le courant est réparti dans la section de ce conducteur. La self-induction n'est donc pas une caractéristique du conducteur, comme on l'admettait autrefois, mais elle dépend de la répartition du courant dans la section et, par suite, de la loi suivant laquelle varie ce courant.

Lorsqu'un courant est constant et a une intensité totale donnée, il se répartit dans un conducteur à trois dimensions, de manière que la quantité de chaleur dégagée par le phénomène de Joule soit minima. Dans un réseau de conducteurs linéaires, cette condition correspond à la répartition qui satisfait à la loi d'Ohm : on peut en faire l'extension à un conducteur à trois dimensions, en supposant ce dernier décomposé en filets élémentaires, disposés en arcs parallèles. En particulier, si nous supposons qu'il s'agisse d'un conducteur métallique homogène, dont la longueur soit très grande vis-à-vis des dimensions transversales, les lignes de courant seront sensiblement parallèles entre elles, et la densité du courant sera uniforme dans toute l'étendue de chaque section.

Si, au contraire, on a affaire à un courant rapidement variable, mais dont l'intensité totale est donnée, on démontre que ce courant prendra une distribution telle que l'énergie magnétique du système soit minima. Admettons, en effet, que dans deux fils parallèles une f. e. m. commune E produise des courants d'intensités respectivement égales à i_1 et à i_2. Si les deux branches du circuit sont invariables de forme et de position, leurs coefficients L_1, L_2 de self-induction et leur coefficient M d'induction mutuelle sont indépendants du temps. D'après la loi d'Ohm généralisée, en désignant par r_1 et r_2 les résistances des deux branches, on aura :

$$i_1 r_1 = E - L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$i_2 r_2 = E - L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

et par suite :

$$i_1 r_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = i_2 r_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Nous retrouvons, en passant, ce résultat bien connu que la loi des courants dérivés de Kirchhoff ne s'applique plus aux courants rapidement variables : le rapport des intensités, au lieu d'être $r_1 : r_2$, en diffère d'autant plus que les termes $\frac{di_1}{dt}$ et $\frac{di_2}{dt}$ sont plus grands, c'est

à-dire que le courant varie plus rapidement avec le temps.

Si nous négligeons les termes qui dépendent des résistances, il reste :

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}.$$

soit en intégrant et en supposant $i_1 = i_2 = 0$ pour $t = 0$,

$$L_1 i_1 + M i_2 = L_2 i_2 + M i_1.$$

Cette condition exprime bien que l'énergie magnétique

$$T = \frac{1}{2}\left(L_1 i_1^2 + 2 M i_1 i_2 + L_2 i_2^2\right)$$

est minima, pourvu que la somme $i_1 + i_2$ reste constante suivant l'hypothèse faite au début.

La même démonstration s'effectuerait d'une manière analogue pour un nombre quelconque de conducteurs disposés en arcs parallèles. Par conséquent, le même résultat est vrai pour un conducteur de dimensions transversales finies, car ce conducteur peut être décomposé en une infinité de filets élémentaires infiniment déliés auxquels il suffit d'appliquer le raisonnement énoncé.

Dans un conducteur rectiligne dont la section est circulaire et qui n'est soumis à aucune action latérale, le courant doit nécessairement affecter une distribution symétrique autour de l'axe. Le conducteur exerce, dans la région qui lui est extérieure, la même action magnétique que si tout le courant, était concentré sur son axe. L'énergie magnétique de cette région extérieure ne dépend donc pas de la distribution du courant et l'énergie magnétique totale sera minima si l'énergie de la région occupée par le conducteur est elle-même minima. Or cette dernière est minima (et ce minimum est o), quand le courant est répandu tout entier sur une couche très mince à la surface du conducteur.

Par ces considérations, nous n'obtenons que des résultats extrêmes relatifs, soit aux courants constants, soit aux courants qui varient très rapidement. On peut chercher ce qui se passe entre ces deux cas limites et essayer de trouver la loi suivant laquelle varie, dans la section d'un conducteur, la densité d'un courant de période donnée [1].

D'après la formule de Neumann, le coefficient d'induction mutuelle de deux circuits est égal à

$$M = \iint \frac{ds\, ds' \cos \varepsilon}{r}$$

ds, ds' désignant respectivement un élément de longueur de l'un et l'autre circuit, ε l'angle de ces deux éléments, et r leur distance. En appliquant cette formule à deux fils parallèles de même longueur l et séparés par une distance p, on trouve :

$$M = 2\left(l \log \frac{l + \sqrt{l^2 + p^2}}{p} - \sqrt{l^2 + p^2} + p\right)$$

Si p est très petit, en comparaison de l, on peut le négliger vis-à-vis de l et écrire :

$$(1) \qquad M = 2l\left(\log \frac{2l}{p} - 1\right)$$

C'est cette dernière forme que nous aurons à utiliser.

Imaginons, en effet, que le conducteur considéré soit divisé en filets élémentaires infiniment déliés, parallèles entre eux, et prenons en particulier un de ces filets de section dq, dans lequel la densité du courant soit u et dont la résistance soit ρ. Soit e la f. e. m. extérieure agissant dans ce filet. Si dq' désigne la section d'un second filet, possédant une densité de courant u', ce second filet exercera sur le premier une f. e. m. d'induction égale à $M \frac{du'}{dt} dq'$.

L'intensité $i = u dq$ dans le premier filet sera donc déterminée par l'équation

$$e = \rho i + \int M \frac{du'}{dt} dq'$$

l'intégrale étant étendue à tous les filets entre lesquels on peut décomposer le conducteur.

[1] STEPHAN. *Wiener Berichte*, 95, II, Abt., p. 917, 1887. — *Wied. Ann.*, 41, p. 400.

En remplaçant i par udq et ρ par $\frac{l}{dq}$, l étant la longueur du filet et σ la résistance spécifique de la matière qui forme le conducteur, on peut écrire cette équation :

$$e = l\sigma u + \int M \frac{du'}{dt} dq'$$

Si on substitue à M la valeur donnée par l'équation (1), l'intégrale se décompose en deux termes. Dans le premier

$$\int 2l(\log 2l - 1) \frac{du'}{dt} dq'$$

le facteur $2l$ ($\log 2l - 1$) est le même pour tous les filets, et on peut le faire sortir du signe $\int$, il reste

$$2l(\log 2l - 1) \int \frac{du'}{dt} dq' = 2l(\log 2l - 1) \frac{dI}{dt}$$

en posant :

$$I = \int \frac{du'}{dt} dq'$$

I représente l'intensité totale du courant. Finalement, on obtiendra l'équation :

$$(2) \quad e = l\sigma u + 2l(\log 2l - 1)\frac{dI}{dt} - 2l \int \log \rho \frac{du'}{dt} dq'$$

Prenons dans la section du conducteur deux axes de coordonnées rectangulaires Oxy, Oz ; soient (y, z) et (y', z'), respectivement les coordonnées des éléments de section ds et ds'; nous aurons :

$$\rho^2 = (y' - y)^2 + (z' - z)^2.$$

L'intégrale qui figure dans le second membre de l'équation (2) est une fonction bien connue. On sait qu'elle jouit de cette propriété, d'ailleurs aisée à vérifier, que la somme de ses dérivées secondes par rapport à y et à z est nulle quand le point (y, z) est en dehors de la section et égale à $2\pi \frac{du}{dt}$ quand le point (y, z) appartient à la section, comme dans le cas actuel.

Si nous effectuons ces différentiations *en admettant que e est le même pour tous les filets*, et en remarquant que I est indépendant de y et de z, nous trouverons :

$$0 = l\sigma \left(\frac{d^2u}{dy^2} - \frac{d^2u}{dz^2}\right) - 4\pi l \frac{du}{dt}$$

ou

$$(3) \quad \frac{du}{dt} = \frac{4\sigma}{\pi} \left(\frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2}\right)$$

Voilà une première équation que doit vérifier la densité u du courant au point (y,z). Pour achever de déterminer u, il faut écrire la condition à laquelle u doit satisfaire sur la surface du conducteur. Cette condition se déduit de l'équation (2); mais dans le cas général, elle est compliquée. Cependant elle s'exprime sous une forme relativement simple quand la section du conducteur est circulaire; nous étudierons seulement ce cas particulier, le plus fréquemment réalisé, d'ailleurs.

Dans un tel conducteur, le courant est réparti symétriquement autour de l'axe, c'est-à-dire que la densité en un point est fonction seulement de la distance de ce point à l'axe. Si a est le rayon du fil, u, la densité à la surface, on peut écrire l'équation (2) sous la forme :

$$(2') \quad e_1 = l\sigma u_1 \; 2l \left(\log \frac{2l}{a} - 1\right) \frac{dI}{dt}.$$

pour un point situé sur la surface du conducteur. Les équations (3) et (4) dérivent de la formule (1) qui représente le coefficient d'induction mutuelle de deux filets de courant infiniment déliés, rectilignes et parallèles. Mais cette formule s'applique aussi, sans changement essentiel, à d'autres formes de conducteurs. Par exemple, pour des cercles situés dans des plans parallèles, perpendiculaires à la ligne des centres, on trouve

$$M = 4\pi R \left(\log \frac{8R}{\rho} - 2\right)$$

R étant la moyenne entre les rayons des deux cercles, l la distance de leurs plans, supposée très petite vis-à-vis de R. Si $2l$ représente la longueur totale des deux cercles, $4\pi R = 2l$ et

$$M = 2l\left(\log \frac{2l}{C} - 2,45188\right)$$

formule tout à fait analogue à la formule (1). On peut d'ailleurs réunir ces formules en une seule et écrire $M = 2l \log \frac{2l}{c}$, c étant une constante, et par suite l'équation (2').

$$e_1 = l\sigma u_1 + 2l \log \frac{2l}{ac} \cdot \frac{dI}{dt}. \qquad (4)$$

Il en résulte que le problème de la distribution d'un courant variable dans un fil courbé en cercle conduisait encore à l'équation (3) et à une équation différant de (4) seulement par un coefficient numérique.

D'une façon générale, le même calcul conviendra à tout conducteur affectant une forme telle que son rayon de courbure soit en chaque point très grand vis-à-vis de ses dimensions transversales.

Il y a encore une restriction à faire, au sujet des conducteurs magnétiques. L'expression (1), en effet, représente M seulement à la condition que, ni les conducteurs ni l'espace qui les entoure ne soient magnétiques. Il n'est pas aisé d'introduire dans le calcul l'influence de la perméabilité des conducteurs et du milieu, sauf dans le cas d'un conducteur circulaire, dans lequel l'aimantation se produit sans qu'il naisse de magnétisme libre.

En admettant que l'intensité d'aimantation est proportionnelle à la force magnétisante, la formule (2) devient :

$$e = l\sigma u + 2l\left(\log \frac{2l}{a} - 1\right)\frac{dI}{dt} + 2l\mu \int \log \frac{a}{r} \frac{du'}{dt} dq'$$

r étant la distance du point considéré à l'axe du fil, μ la perméabilité magnétique de ce fil. Nous avons ainsi tenu compte de l'induction produite par l'aimantation du fil. En traitant cette équation comme l'équation (2), nous en déduirons :

$$\frac{du}{dt} = \frac{\sigma}{4\pi\mu}\left(\frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2}\right) = \frac{\sigma}{4\pi\mu}\left(\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{du}{dr}\right) \qquad (5)$$

La même équation se déduit facilement des équations fondamentales de Maxwell. Dans un système de coordonnées quelconque, on a en effet pour chaque point du conducteur

$$u = \sigma P \qquad v = \sigma \varphi \qquad w = \sigma R$$

u, v, w étant les composantes du courant, P, φ, R, celles de la force électromotrice d'induction respectivement égales aux dérivées $\frac{\partial F}{\partial t}$, $\frac{\partial G}{\partial t}$, $\frac{\partial H}{\partial t}$ des composantes F G H du potentiel vecteur.

La f. e. m. totale a pour composantes :

$$-\frac{dF}{dt} - \frac{\psi}{dx}, \qquad -\frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}, \qquad -\frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$$

ψ est une fonction des coordonnées et nous supposerons que toutes les f. e. m. qui ne dépendent pas des variations du courant rentrent dans les termes $\frac{\partial \psi}{\partial x}$, etc. Dans l'intérieur du conducteur $\Delta\psi = 0$ et si la perméabilité μ a une valeur constante,

$$\Delta F = -4\pi\mu \qquad \Delta G = -4\pi\mu v \qquad \Delta H = -4\pi\mu w.$$

Par conséquent :

$$u = -\sigma \frac{dF}{dt} - \alpha \frac{d\psi}{dx}$$

et

$$\frac{4\pi\mu}{\Delta F} = \sigma \frac{dF}{dt} + \sigma \frac{d\psi}{dx}.$$

En différentiant les deux membres par rapport à t et remplaçant $\frac{\partial F}{\partial t}$ par $\left(u + \sigma \frac{\partial \psi}{\partial x}\right)$, il vient

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{4\pi\mu\sigma} \Delta u$$

et de même

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{4\pi\mu\sigma} \Delta v$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{4\pi\mu\sigma} \Delta w$$

Ces équations différentielles ont la même forme que l'équation à laquelle on parvient en étudiant la propagation de la chaleur dans un corps conducteur, soit :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K}{\rho c} \Delta\theta = a^2 \Delta\theta$$

θ étant la température en un point, K la conductibilité calorifique spécifique, ρ la densité, et c la chaleur spécifique du corps.

L'équation (5) n'en est qu'une forme particulière. En comparant la condition à la surface, on voit aisément que le facteur $\frac{e}{l\sigma}$ joue dans le problème d'électricité le même rôle que la température extérieure dans le problème de chaleur. De ce qu'on sait sur ce dernier, on déduit par analogie, que le courant (comme l'élévation de température) se propage à partir de la surface, et qu'il atteint sa densité définitive d'abord dans les couches les plus profondes, ensuite dans les parties centrales.

L'égalisation des densités de courant se fait d'autant plus rapidement que le coefficient $a^2 = 1 : 4\pi\mu\sigma$ est plus grand, c'est-à-dire que la conductibilité du corps est plus petite, ainsi que la perméabilité magnétique.

Si on lance dans un conducteur un courant alternatif de haute fréquence, ce conducteur se comporte comme un corps placé dans un espace où la température varie périodiquement; il se produira un état stationnaire de la densité du courant. Les maxima périodiques de cette densité sont d'autant plus petits et leurs retards de phase d'autant plus grands que la couche considérée est plus éloignée de la surface.

Stefan a pu calculer numériquement la variation de densité et les retards de phase en supposant le fil cylindrique de section circulaire. L'équation (5) relative à ce cas peut s'écrire :

$$\frac{du}{dt} = \frac{\sigma}{4\pi\mu}\left(\frac{du^2}{d\zeta^2} - \frac{1}{a}\frac{du}{d\zeta}\right) \tag{6}$$

en posant $r = a - \zeta$, a étant le rayon du fil et ζ la distance de la couche considérée à la surface. En toute rigueur, on devrait écrire $\frac{1}{a-\zeta}$; mais comme u décroît très rapidement quand ζ augmente et est déjà très petit pour des valeurs très petites de ζ, on peut simplifier l'équation de la manière indiquée si a n'est pas lui-même très petit.

Une intégrale de cette équation (6) est donnée par :

$$u = e^{-g\zeta} \sin(\gamma t - h\zeta)$$

qui pour $\zeta = 0$ donne

$$u_1 = \sin \gamma t$$

g et h sont des constantes définies par les relations

$$g^2 - h^2 + \frac{g}{a} = 0 \qquad 2gh + \frac{h}{a} = \frac{4\pi\mu\gamma}{a}$$

On tire de là successivement : en remarquant que

$$\frac{dI}{dt} = \int 2\pi r \frac{du}{dt}\, dr = \frac{a\sigma}{2\mu}\frac{du}{dr}$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{a\sigma}{2\mu}\frac{du}{d\zeta} = \frac{a\sigma}{2\mu}(g \sin \gamma t + h \cos \gamma t)$$

$$I = \frac{a\sigma}{2\mu\gamma}(h \sin \gamma t - g \cos \gamma t)$$

$$\gamma h I + g\frac{dI}{dt} = \frac{a\sigma}{2\mu}(g^2 + h^2) \sin \gamma t = \frac{a\sigma}{2\mu}(g^2 + h^2) u_1$$

Remplaçons u_1 par cette valeur dans l'équation (4) :

$$e_1 = \frac{2l\mu\gamma h}{a(g^2 + h^2)} I + \left[2l \log \frac{ac}{2l} + \frac{2l\mu g}{a(g^2 + h^2)}\right]\frac{dI}{dt}$$
$$= IR' + L'\frac{dI}{dt}.$$

Si nous admettons que la force électromotrice extérieure e a la même valeur dans toute la section, on peut regarder R′ comme la résistance et L′ comme le coefficient de self-induction du fil.

Si nous appelons R la résistance du conducteur pour les courants constants, n le nombre d'alternances du courant considéré, $\gamma = 2n\pi$ et.

$$R' = R\left(\pi a\sqrt{\frac{n\mu}{\sigma}} + \frac{1}{4}\right)$$

$$L' = 2l\left(\log \frac{2l}{ac} - \frac{1}{4}\right)$$

A mesure que n augmente, L′ diminue et tend vers la valeur limite qui correspond à une distribution purement superficielle du courant.

Il est à remarquer d'ailleurs que L' diffère peu du coefficient L_0 obtenu en supposant la densité du courant uniforme ; en effet :

$$L_0 = 2l\left(\log\frac{2l}{ac} - \frac{1}{4\pi a}\sqrt{\frac{\mu c}{n}}\right)$$

Ceci explique pourquoi les calculs qu'on effectue dans la théorie des oscillations électriques, quoiqu'en grande partie basés sur des hypothèses certainement inexactes, conduisent cependant à des résultats sensiblement d'accord avec les expériences, au moins tant que la résistance n'a pas d'influence appréciable.

Voici quelques résultats numériques calculés par Stefan et qui donnent une idée de la distribution d'un courant dans un fil magnétique et non magnétique.

Dans un fil de fer de 1 cm. de longueur et de 1 cm. de diamètre, dont on réunit les extrémités au pôle d'une pile, le courant au bout de 0s,01 ne diffère plus que de 3 p. 100 de sa valeur finale sur la surface, tandis que sur l'axe il a atteint seulement la moitié de cette valeur. (On suppose la résistance spécifique du fer égale à 9900 et sa perméabilité égale à 150.)

Dans un fil de fer de 4 mm. de diamètre, parcouru par un courant à 500 alternances, l'amplitude des oscillations est 2,52 fois plus grande que sur l'axe. — Ce rapport devient 5,86 pour 1000 et 20,59 pour 2000 alternances; les différences de phase entre la surface et l'axe seraient dans ces trois cas: 116°,2', 174°,50', 215°,38'.

Dans un fil de cuivre dont on prend la séction telle que sa résistance soit égale à celle du fil de fer, les différences sont beaucoup plus faibles. Les rapports des amplitudes sur la surface et sur l'arc sont 1,0036 pour 500 alternances et 1,0144 pour 1000 alternances, les différences de phase, 6°50' et 13°40'.

Puisqu'à la limite, l'intérieur d'un conducteur dans lequel circulent des courants alternatifs ne transmet pas de courant, on peut dire qu'en un point de l'intérieur la f.e.m. extérieure et la f.e.m. de self-induction se font équilibre. La partie superficielle du conducteur joue donc vis-à-vis de la partie centrale le rôle d'écran électrodynamique. Il en sera de même d'un conducteur creux, car en supprimant la portion du conducteur comprise entre deux cylindres concentriques, on ne supprime que des éléments de courant dont l'intensité est infiniment petite. Un tube peu épais suffira à faire un écran presque parfait ; car comme nous l'avons vu, la densité du courant décroît comme l'exponentielle e^{-gr} et g a une grande valeur pour les oscillations rapides.

Stefan a vérifié expérimentalement cette conséquence de la théorie : en particulier en entourant un résonnateur de Herz d'un cylindre de toile métallique, il a constaté que les étincelles secondaires disparaissaient complètement ; les conducteurs électrolytiques sont susceptibles aussi de former des écrans électrodynamiques : ces derniers avaient déjà été étudiés d'ailleurs par JJ. Thomson.

En écrivant les équations qui nous ont servi de point de départ, nous avons supposé implicitement qu'à un instant donné l'intensité du courant était la même tout le long d'un même filet suivant tout le conducteur. Cette condition qui est remplie très approximativement dans les courants de décharge d'un condensateur, ne l'est plus quand il s'agit d'ondes électriques se propageant dans un fil de grande longueur.

On peut s'affranchir d'ailleurs de cette restriction, et traiter le problème d'une manière plus générale, comme l'a fait Kirchhoff dès 1857 (1). Kirchhoff a montré que dans certains cas la propagation de l'électricité doit se faire par ondes, avec une vitesse voisine de celle de la lumière. Les calculs complets sont passablement compliqués : nous nous contenterons d'indiquer la marche générale. Kirchhoff calcule, pour un point donné du conducteur, d'une part la f.e.m. extérieure, dérivée prise suivant l'axe du conducteur du potentiel d'électrostatique, et d'autre part la f.e.m. d'induction, par

(1) KIRCHHOFF. *Ges. Abh.*, 1 Abt., p. 131. — Voir aussi POTIER, *Jour. de Phys.* 3e série, III, 1894, p. 107.

la formule de Weber. Chacune de ces f.e.m. est représentée par une intégrale étendue à tout le conducteur ; dans chacune de ces intégrales, on distingue deux termes. L'un, composé de l'intégrale étendue à une portion du conducteur comprenant le point considéré, qui se trouve au milieu de sa longueur. Cette longueur infiniment petite vis-à-vis de la longueur totale du fil, est infiniment grande vis-à-vis des dimensions de la section ; dans le calcul de ce terme, on tient compte de la répartition du courant dans la section. En calculant au contraire l'autre terme qui est formé de l'intégrale étendue au reste du conducteur, on admet que le courant est concentré sur l'axe.

Dans ces conditions, on parvient aux deux équations :

$$(1)\quad \begin{cases} i = -2 \log \frac{l}{\alpha} \cdot \frac{l}{R}\left(\frac{de}{ds} + \frac{1}{v^2}\frac{di}{dt}\right) \\ \frac{di}{ds} = -\frac{de}{dt} \end{cases}$$

Dans ces équations, i représente l'intensité du courant à l'instant t dans la section qui se trouve à la distance s de l'extrémité, comptée positivement dans le sens où s croît ; e est le potentiel électrostatique, l la longueur du fil, α son diamètre, R sa résistance.

Dans le cas particulier où le fil est fermé sur lui-même, e et i doivent avoir les mêmes valeurs pour $s = 0$ et pour $s = l$, quelle que soit l'origine à partir de laquelle est comptée s. Ceci exige que e et i soient des fonctions périodiques de s, admettant l pour période. On peut les développer suivant des séries de Fourier, et calculer les constantes de cette série si on connaît la relation

$$e = f(s)$$

qui relie e à s à l'époque $t = 0$.

Dans ce cas, en supposant qu'à l'origine du temps le conducteur ne renferme pas d'électricité libre.

$$e = e^{-ht}\left[f(s + vt) + f(s - vt)\right]$$

$$i = -ve^{-ht}\left[f(s + vt) + f(s - vt)\right]$$

h étant égal à :

$$h = \frac{v^2}{4l \log \frac{l}{\alpha}}$$

L'électricité se propage donc dans le fil suivant deux ondes d'égale intensité, mais se propageant en sens contraire avec une vitesse v égale au rapport des unités de masse électrique, dans les systèmes électromagnétique et électrostatique.

Quand le circuit n'est pas fermé, e et i doivent vérifier, aux extrémités, certaines équations qui dépendent des conditions dans lesquelles se trouvent ces extrémités. Ainsi, si une extrémité est isolée, i doit toujours y être nul, — si elle est reliée au sol, c'est e qui doit y être constamment nul. Le calcul montre que si les extrémités sont, ou toutes deux reliées au sol, ou l'une isolée et l'autre reliée au sol, l'onde se réfléchit toujours. La réflexion se fait avec changement de signe si l'extrémité du conducteur est reliée au sol, sans changement de signe si elle est isolée.

Kirchhoff avait donc trouvé dès cette époque les lois principales suivant lesquelles les ondes électriques se propagent dans les *conducteurs* en s'appuyant sur les lois des actions à distance ; il semble qu'il n'avait plus à faire qu'un pas pour aboutir aux théories actuelles. Mais le pas était hardi : car il fallait, rompant avec les idées reçues, attribuer aux *diélectriques*, considérés alors comme absolument inertes, le rôle important ou pour mieux dire prépondérant que leur donna Maxwell quelques années plus tard.

M. LAMOTTE,
Agrégé-préparateur au Laboratoire d'Enseignement à la Sorbonne.

LES LAMPES A ARC

La nouvelle lampe *Elihu Thomson* représentée par les figures 1 à 6 est remarquable par sa simplicité, sa régularité et par un certain nombre de détails de construction ingénieux. Cette lampe est spécialement disposée pour être

montée par groupes de deux sur des circuits à courants continus et à basse tension invariable de 100 à 110 volts pour lampes à incandescence. Elle est régularisée par deux solénoïdes, l'un en série C, l'autre en dérivation KK. Au repos, les charbons sont en contact. Dès que le courant passe librement et à grande intensité, au travers des charbons et du solénoïde C, l'arma-

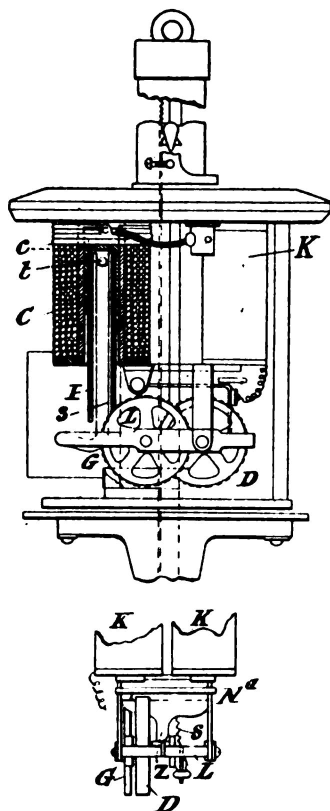


Fig. 1 et 2. — Lampe Elihu Thomson.

ture I de celui-ci soulève, par la bielle 3, articulée en *t*, le cadre L pivoté sur l'axe du rochet D, actuellement immobilisé par son cliquet *d*. Comme ce rochet est rendu, par un petit pignon, solidaire de la roue C, reliée elle-même par un autre pignon, à la crémaillère du porte-charbon supérieur, il en résulte que ce premier mouvement de I soulève ce charbon et amorce l'arc. Cette levée continue jusqu'à ce que l'augmentation de la résistance de l'arc ait fait passer en K un courant suffisant pour que cet électro, attirant son armature L malgré le ressort *s*, sépare le cliquet *d* du rochet D; mais cette levée interrompt par cela même la dérivation sur K, qui passe par D*d*, de sorte que *d* se trouve en prise avec D et ne le laisse tourner, sous le poids du charbon, que dent par dent, jusqu'au rétablissement de l'arc à sa valeur normale.

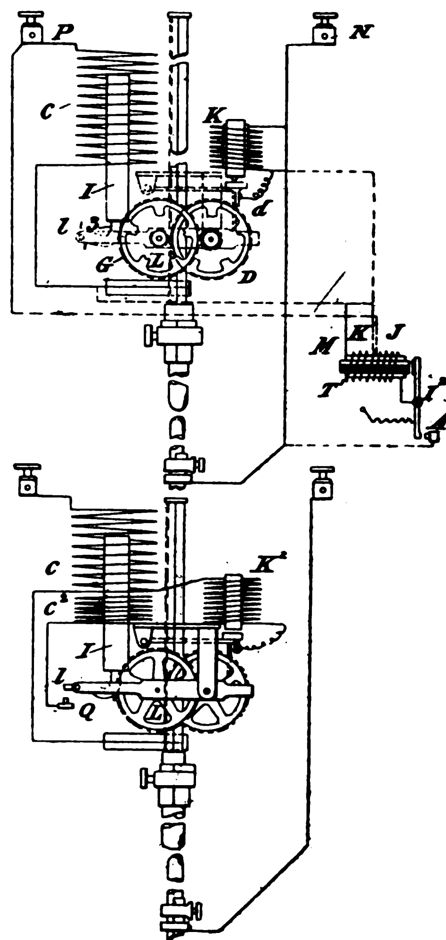


Fig. 3 et 4. — Lampe Elihu Thomson. Schéma des circuits.

Si l'intensité du courant en C est assez forte pour amener son armature au contact de sa butée *c*, la tension du ressort S, qui augmente avec la levée de I, suffit pour assurer à une fraction de volt près, le réglage de la lampe ; mais si I, insuffisamment attiré, flotte pour ainsi dire entre ses positions extrêmes, le réglage par K devient fonction de la position de I, qui fait varier la tension de S, ou de l'in-

tensité du courant en C, en même temps que du voltage de l'arc comme dans une lampe différentielle. On voit en outre que la descente de I soulève, au bout d'un certain parcours, l'armature N_1 de K par la butée *z* du châssis S, et seur épais en cuivre T, avec enroulement à fil fin K' en dérivation sur *d*D, de manière que si *d* quitte définitivement D ou seulement se met à vibrer avec trop de fréquence par suite d'une insuffisance de régularisation, K_1 mis en série

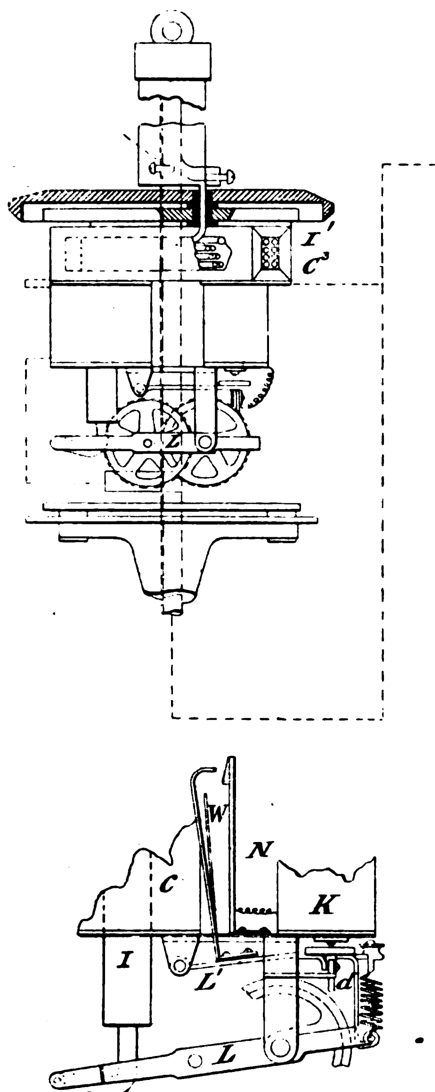


Fig. 5 et 6. — Lampe Elihu Thomson isolée.

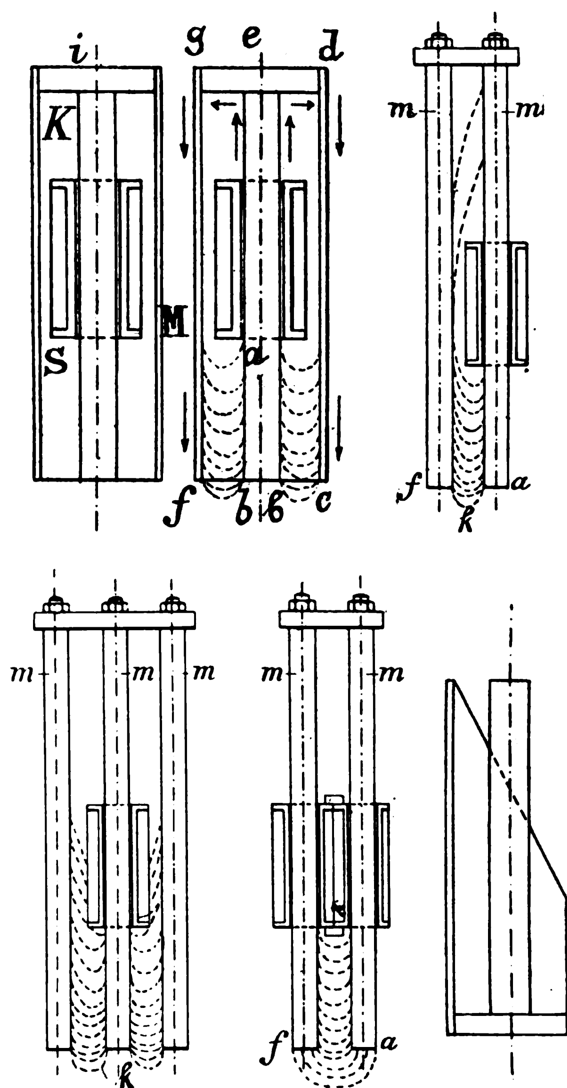


Fig. 7 à 12. — Doubrava et Donat. Schéma des électros.

déclanche ainsi le cliquet *d*, de manière à ramener les charbons au contact : enfin les mouvements de I sont amortis parce qu'il fait dashpot dans son armature.

Lorsque les lampes fonctionnent en série on les munit d'un coupe-circuit formé d'une solénoïde M (fig. 3) enveloppé d'un tube amortis-

avec K fait fermer par MI_2 le contact A. Le courant de la lampe passe alors au travers du gros fil *j* de M dont il maintient le contact A, jusqu'à la remise au contact des charbons, qui a pour effet de shunter de nouveau *j*.

Lorsqu'on veut employer cette lampe isolément et avec des courants alternatifs à potentiel

constant, il faut lui faire subir les modifications indiquées sur le schéma fig. 5 et 6. Quand l'armature lamellaire I descend, elle ferme en G, par l'extrémité *l* du châssis L, le circuit du solénoïde C_2. relié aux électros K_2, et dans lesquels I induit ainsi des courants secondaires de ceux de C, de manière à faire dès lors fonctionner le cliquet *d* comme dans la lampe précédente. On peut en outre ajouter dans ce cas à la lampe un solénoïde amortisseur C_3 (fig. 5) enveloppé d'une armature en fer I, traversé par les courants et qui agit par son impédance

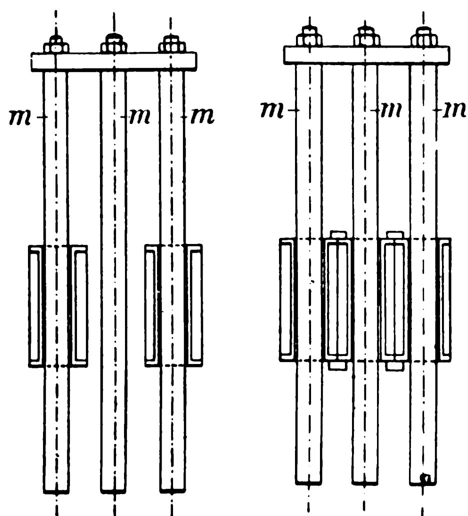


Fig. 13 et 14. — Lampe Doubrava et Donat. Électros jumelés.

— résistance et self-induction — pour amortir les variations brusques du courant.

Enfin quand le potentiel du circuit de la lampe est assez faible, il peut arriver que la chute de l'armature I soulève le circuit *d* quand ce potentiel est encore suffisant pour maintenir un petit arc, ce qui pourrait avoir pour effet d'endommager la lampe, brûler les isolants, etc. Pour éviter ce danger, on dispose sur l'armature L″ (fig. 6) de K à *d* un contact W isolé et ordinairement en contact avec la lame isolée N reliée à K. Quand la chute de I et de L soulève L′, W se sépare de N aussitôt après la première rupture de son circuit en *d*, pour refermer ensuite ce même circuit en WN un peu avant de le rétablir en *d*.

MM. Doubrava et *Donat* ont récemment adopté pour leurs lampes un type particulier de solénoïdes représenté schématiquement par la figure. L'armature du solénoïde S se compose (fig. 7 et 8) d'une enveloppe en fer M, avec noyau en fer K à chapeau *i* également en fer, disposition qui permet de concentrer beaucoup les lignes de force, avec leurs longs

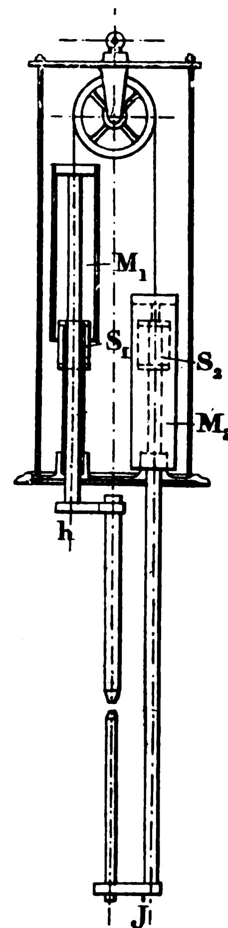
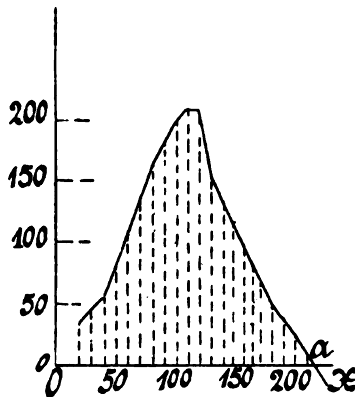


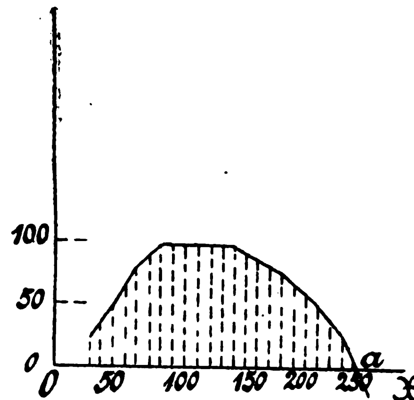
Fig. 15. — Lampe Doubrava et Donat. Schéma du mécanisme.

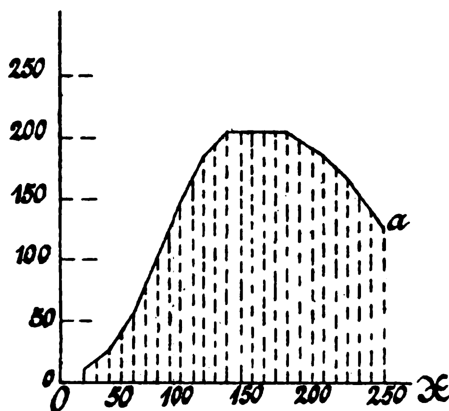
parcours (*a c d c*) (*a c g b*) dans le fer, et un très petit trajet (*fb*) (*bc*) dans l'air.

Avec les solénoïdes ordinaires, si l'on trace une courbe en prenant pour ordonnées les attractions, et pour abscisses les positions de l'armature dans le solénoïde, cette courbe a la forme représentée par la figure 16 par laquelle on voit que l'attraction augmente jusqu'à ce

que l'armature ait parcouru environ le quart de sa course, puis s'annule pour changer de sens en *a*, quand son centre vient à passer devant celui du solénoïde. Si l'on donne à l'armature une forme cylindro-conique, l'irrégularité de la courbe diminue considérablement (fig. 17), mais toujours avec annulation de l'attraction au point *a*; tandis, qu'avec la disposition nouvelle, cette annulation ne se produit pas, ainsi que l'indique la figure 18. L'on peut enfin, en donnant à l'armature une forme analogue à celle de la figure 12, obtenir une courbe d'at-







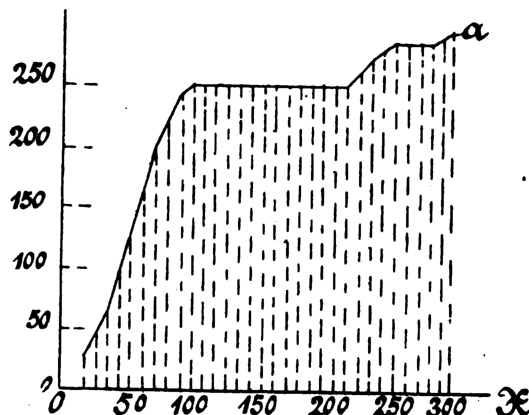


Fig. 16 à 19. — Lampe Doubrava et Donat. Théorie de l'armature. Courbes d'attraction.

traction à la fois très puissante et régulière comme celle que représente la figure 19, où l'attraction atteint au contraire sa puissance maxima à la fin de la course de l'armature.

On peut aussi remplacer l'enveloppe M par une ou plusieurs barres *m* (fig. 8 et 9) concentrant les lignes de force aux extrémités *a*, et le solénoïde simple par des solénoïdes doubles (fig. 11 et 13) ou triples (fig. 14). Avec toutes ces formes on obtient toujours une attraction plus puissante et persistant, jusqu'à la fin de la course.

La figure 15, représente schématiquement une lampe régularisée par l'emploi de deux de ces solénoïdes, l'un en série S_2, l'autre dérivé S_1, avec armatures-enveloppes M_1 M_2 conjuguées par une poulie et reliées chacune, en *f* et en *h*, à un porte-charbon.

Le fonctionnement très simple de la lampe *Brown* et *Offord* est facile à suivre sur les figures 20 et 21. Au repos, les charbons conjugués par une corde à poulie m_1 sont séparés. Dès que le courant passe, le solénoïde en déri-

vation *f* attirant son armature abaisse, par le levier *l*, l'armature du solénoïde en série *a* et le bras *i* du frein *h*, qui, ainsi disposé, laisse les charbons se rapprocher par leur propre poids et amorcer l'arc. Le passage du courant dans le solénoïde en série *a*, dû à cet amorçage, serre le frein *h* et arrête la séparation des charbons, puis l'arc se maintient par la force ordinaire des deux solénoïdes en différentiel, avec amortissement des oscillations par le dash-pot à glycérine *s*.

La lampe d'*Andrew* représentée par la figure 22 a aussi pour régulateur un électro-aimant en série P, qui pour amorcer l'arc, lâche la bande K du frein H, et laisse les charbons se rapprocher par leur poids. Quand les lampes sont groupées en série, l'électro P est en dérivation, et l'armature N serre le frein, au lieu de le desserrer, pour amorcer l'arc par la séparation automatique du charbon.

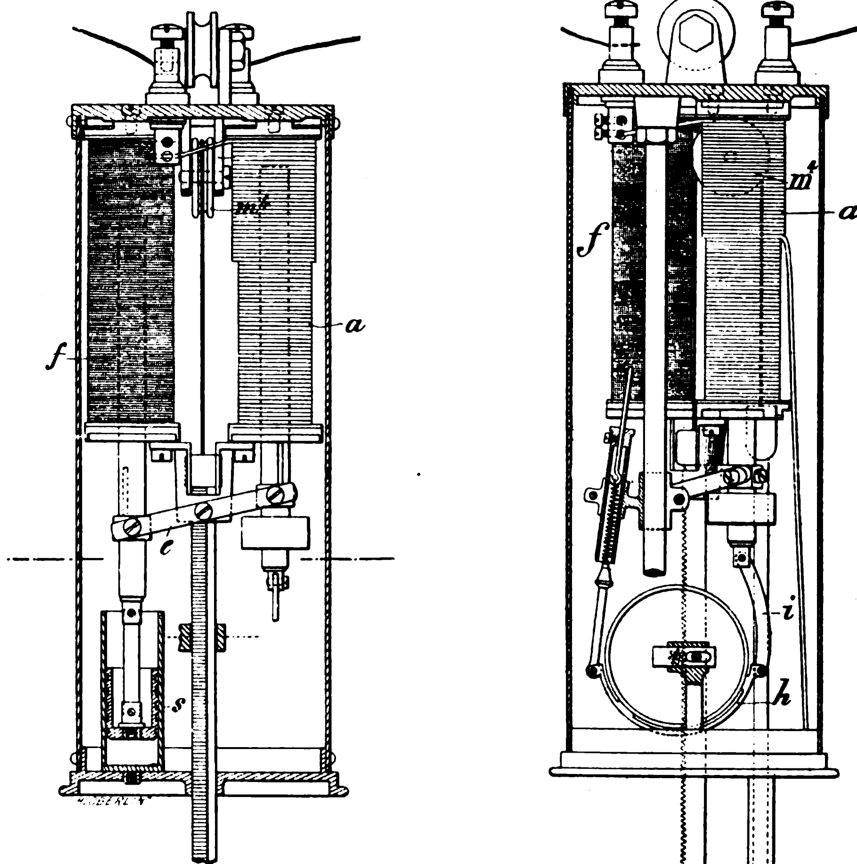


Fig. 20 et 21. — Lampe Brown et Offord.

La lampe de *Taylor* représentée par les figures 23 et 24 est du type renversé avec charbon positif et mécanisme régulateur au bas de la lampe. Au repos, les charbons, conjugués par un renvoi de poulie, sont au contact. Dès que le courant passe, le solénoïde en série C, attirant son armature, soulève par E E_1 le châssis F, ce qui immobilise le train régulateur par l'appui de la roue cannelée H sur son frein I et sépare, par l'autre bout H_5 du châssis F et la corde J, les charbons d'une longueur réglée par la butée F_2. Une fois l'arc amorcé, le solé-

noïde dérivé D le maintient en abaissant par D_1 le châssis F, de manière à lâcher le frein H et à permettre aux charbons de se rapprocher en tendant par la corde J le ressort de la roue H_4 à rochet H_2, disposée de manière à maintenir toujours J tendu sans aucun jeu.

Le mécanisme de la lampe *Mountain et Carew* est (fig. 25) à la fois simple et très robuste; les armatures a et a_1 des solénoïdes en série S et en dérivation S_1 sont conjuguées par un levier à bras inégaux L, de manière que, à l'arrivée du courant, le frein a serre et entraîne la poulie P, qui sépare les charbons avec des variations amorties par le ressort e et par le dash-pot D.

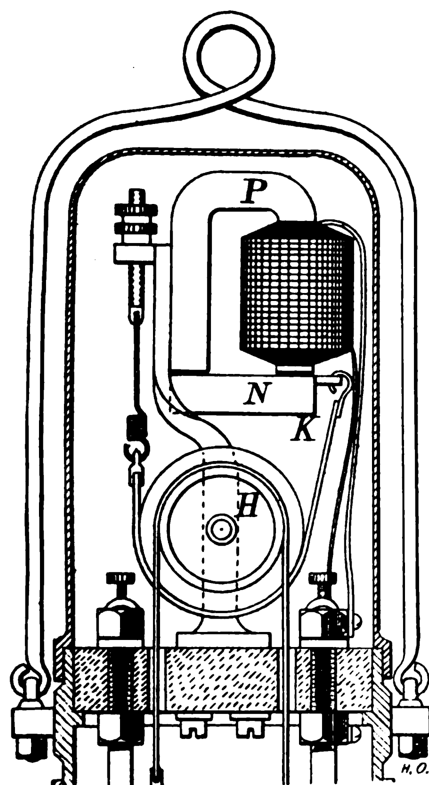


Fig. 22 — Lampe Andrew.

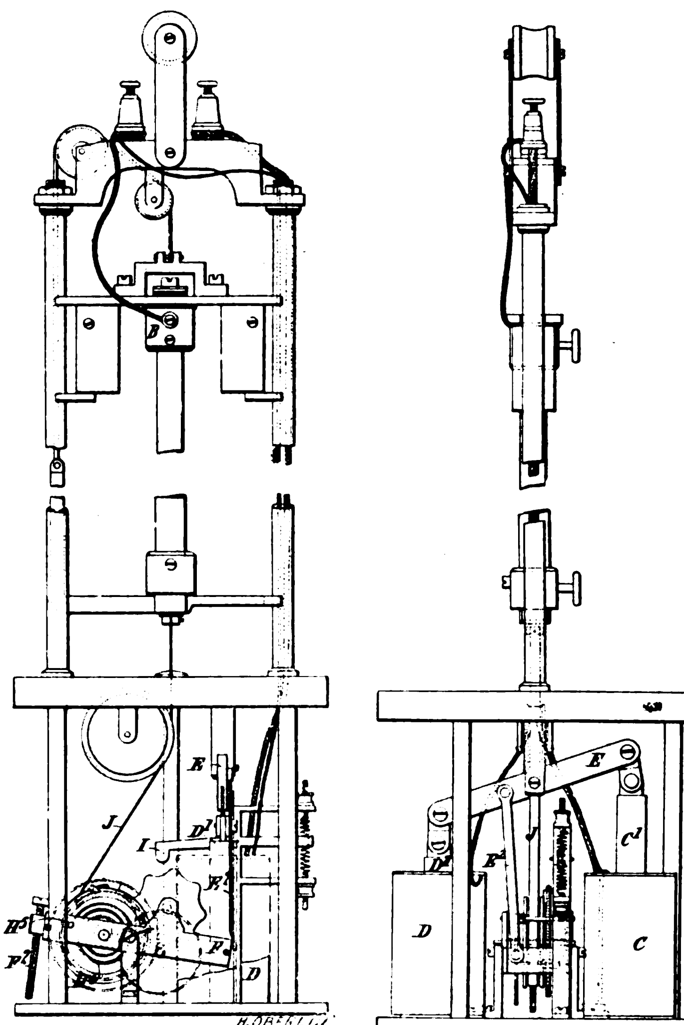


Fig. 23 et 24. — Lampe Taylor.

Dans la lampe également très simple de *Jones* (fig. 26 à 28) le porte-charbon supérieur a fait écrou en c sur une vis b suspendue au levier e de l'armature f que l'électro-aimant en série g attire dès le lancé du courant de manière à amorcer l'arc; puis à mesure que la résistance de l'arc augmente, l'électro dérivé m, attire son armature lk, malgré le ressort n, jusqu'à la rupture de son circuit en o. Dès cette rupture, le ressort n, rappelant lk, fait

tourner par le cliquet *h* la tête *j* de la vis *b* de la quantité qu'il faut pour ramener l'arc à sa longueur normale.

La lampe homofocale de *Cooper* représentée

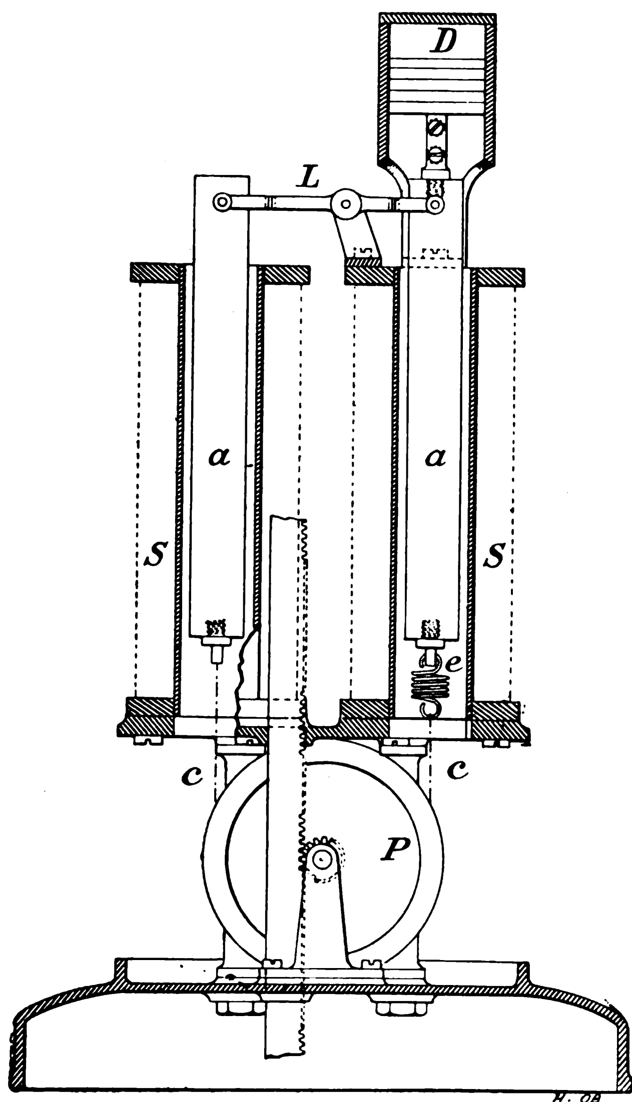
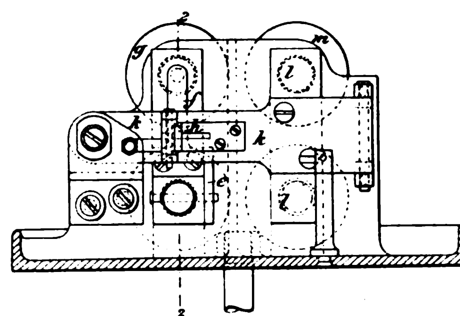
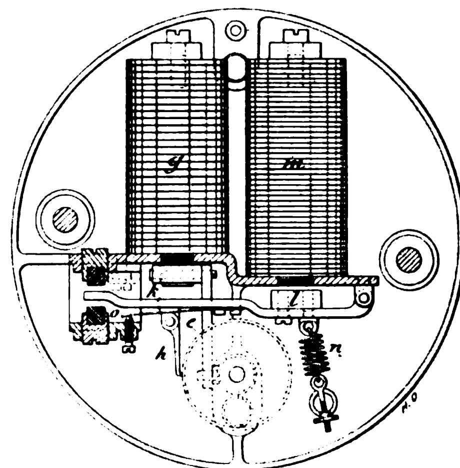


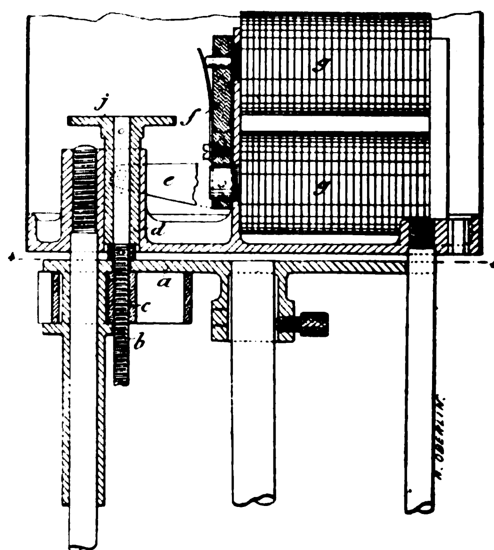
Fig. 25. — Lampe Mountain.

par les figures 29 à 32 est remarquable par l'emploi très ingénieux d'un régulateur à air A et par un grand nombre de détails très bien conçus et fort élégamment établis.

Le régulateur pneumatique ou à air consiste en une cloche A guidée par des garnitures *a* dans le cylindre B avec fermeture par eau gly-







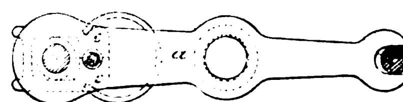


Fig. 26, 27 et 28. — Lampes Jones (2e type).

cérinée et tube *b* communiquant avec l'atmosphère par *c* et la soupape C, que l'armature *k*

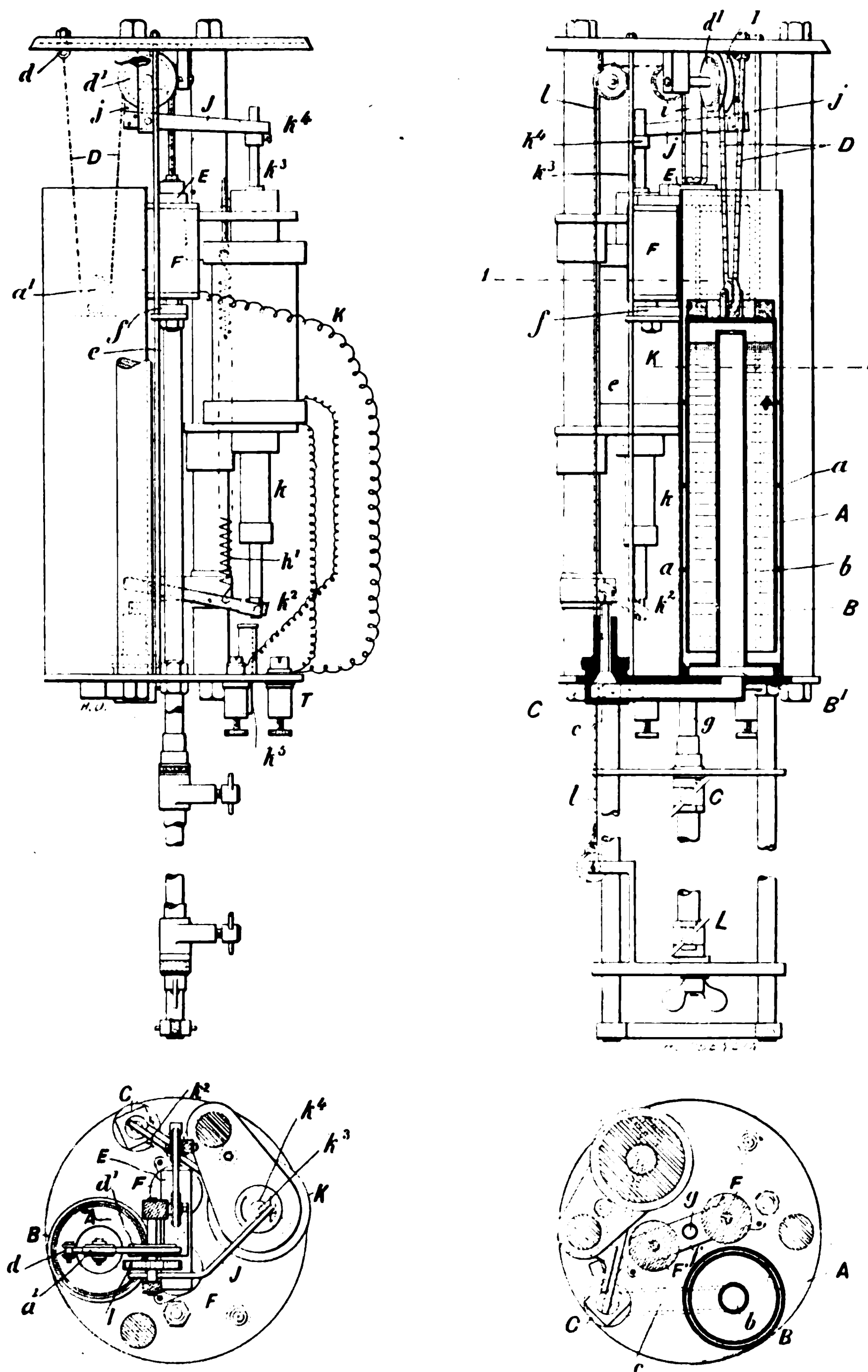


Fig. 29 à 32. — Lampe Cooper.

de l'électro dérivé K commande par le levier k_2. Cette cloche est reliée par le train $d\ d_1\ a_1$ D au porte-charbon supérieur C, de manière que ses mouvements s'y amplifient deux fois. Ce

porte-charbon entraîne avec lui le solénoïde en série F, et la poulie d_1 est pourvue d'un frein I, à levier J manœuvré par le solénoïde K. L'armature k de ce solénoïde, équilibrée en partie par un ressort R_1 est, à cet effet, pourvue d'un collet R_4 ajustable de manière à attaquer le levier J et à desserrer le frein immédiatement avant l'ouverture de la soupape c. Enfin le bouton k_3 permet d'ouvrir à la main la soupape C, de manière à laisser l'air s'échapper de A pour remplacer les charbons.

On obtient par cette combinaison d'un frein actionné au moyen de l'électro-aïmant dérivé K par l'intermédiaire d'une cloche à air A une extrême douceur de mouvement sans aucune complication réelle des mécanismes régulateurs, de sorte que cette lampe paraît tout indiquée pour des applications où l'on ne peut éviter les secousses et les vibrations, comme, par exemple, sur les locomotives.

GUSTAVE RICHARD.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE [1]

CHAPITRE III

PHÉNOMÈNES DE DIFFRACTION.

21. *Disposition générale des expériences.* — Dans le second mémoire que j'ai cité plus haut, j'ai déjà publié une expérience préliminaire qui montrait la production de phénomènes analogues aux principaux phénomènes de diffraction. Dans ces premiers essais, j'employais des appareils dont la longueur d'onde était de $\lambda = 20$ cm. environ; mais j'ai reconnu depuis que les expériences réussissent encore mieux avec des plus petites longueurs d'onde. Aussi, me bornerai-je à rendre compte d'une série d'expériences exécutées avec les appareils II.

On connaît l'explication élémentaire qu'on donne des phénomènes de diffraction en recourant à la théorie dite de la graduation de l'onde. Dans mes expériences, j'ai précisément cherché à réaliser la division d'une onde en éléments, afin d'opérer diversement sur celles à angle droit de l'expérience suivante. La

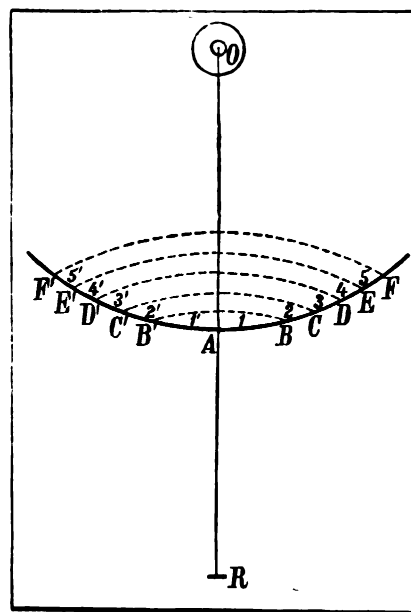


Fig. 11. — Disposition générale des expériences de diffraction avec des ondes électromagnétiques.

forme des oscillateurs et résonnateurs suggère naturellement de considérer le cas d'ondes cylindriques, cas qui est en même temps le plus simple possible. J'ai donc commencé par préparer un graphique représentant une section transversale de l'onde cylindrique et, sur ce tracé, j'ai placé ensuite, en des positions différentes suivant les cas, les différents diaphragmes.

Sur une grande feuille de papier, on prend deux points O et R (fig. 11) distants de 140 cm. Du point O comme centre, on trace un arc de cercle FAF de 75 cm. de rayon. Sur cette courbe, à droite et à gauche du point A, on marque les points B, C, D..., tels que leurs

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 2 mars 1895, p. 391.

distances respectives au point R augmentent successivement d'une longueur égale à 1, 2, 3, etc. demi-onde.

Verticalement au-dessus de O, et, à environ $0^m,50$ de hauteur, on place l'excitateur; le résonnateur doit être placé verticalement au-dessus du point R et à la même hauteur que l'oscillateur. La surface cylindrique qui a pour trace sur le plan du papier la ligne FF', sera la portion d'une onde émanée de l'oscillateur considéré comme ayant une surface cylindrique dans la partie utile; de même, les bandes verticales limitées par les génératrices dont les traces sont en B, C, D,... B', C', D'... seront précisément les éléments de l'onde graduée. Pour simplifier le langage, je représenterai chacun de ces éléments par des nombres 1, 2, 3, etc., indiquant l'ordre dans lequel ils se suivent, soit à droite soit à gauche du point A, et je marquerai d'un accent ceux qui sont à gauche du point A.

Pour l'exécution des expériences, il est nécessaire de se procurer différents diaphragmes métalliques de forme rectangulaire fixés verticalement sur des pieds convenables. Ces diaphragmes qui sont en zinc et dont la hauteur est de 1 mètre environ, ont exactement la largeur des différents éléments de l'onde, de telle sorte que, si on les place tous sur les éléments correspondants, on donne pour ainsi dire à l'onde FF' une forme matérielle représentée par une lame de zinc divisée en bandes verticales suivant les génératrices B, C, D, etc.

L'oscillateur et le résonnateur doivent être employés sans leurs miroirs paraboliques. Cependant, il est avantageux de munir le résonnateur d'un miroir très étroit, ou d'une bande amplificatrice afin d'augmenter sa sensibilité (§ 10). Il faut renouveler souvent le résonnateur, afin d'obtenir toujours une très grande sensibilité.

Dans toutes les expériences décrites dans ce chapitre, l'oscillateur doit avoir son axe vertical; en le plaçant horizontalement, les effets ne varient pas sensiblement.

22. *Expérience du diaphragme de Fresnel.* — Dans l'explication géométrique des phénomènes de diffraction, on démontre que les éléments 2, 4..., 2', 4'..., de l'onde envoient en R des ondes élémentaires qui interfèrent avec celles qui émanent des éléments 1, 3..., 1', 3'... Fresnel et plus tard Billet (1), ont construit un diaphragme opaque qui, placé entre la source lumineuse O et le point R où s'observe l'effet lumineux produit, couvre les éléments d'ordre pair; ils obtinrent ainsi, comme ils l'avaient prévu, une augmentation d'intensité en R.

L'expérience électro-magnétique analogue donne de même des résultats qui concordent parfaitement avec la théorie.

On observe les étincelles dans le résonnateur placé en R; pour estimer l'intensité des oscillations, on mesure l'angle dont il faut le faire tourner autour de son axe pour que les étincelles s'éteignent (§ 9, *b*).

Quand on place deux diaphragmes métalliques en 2 et 2', l'effet produit en R augmente immédiatement d'intensité et, pour éteindre l'étincelle dans le résonnateur, il faut tourner celui-ci d'un angle plus grand. En plaçant aussi les diaphragmes 4 et 4', on observe nettement une nouvelle augmentation d'intensité dans les oscillations électriques du résonnateur. Avec les distances choisies, l'effet des diaphragmes 6 et 6' n'est pas sensible.

23 *Diffraction produite par une fente étroite.* — On sait que, dans le phénomène optique de la diffraction produite par une fente étroite, le milieu de l'image correspond à une intensité maxima ou minima suivant que la fente laisse libre sur l'onde un nombre impair ou pair d'éléments, et que à côté de ce maximum ou de ce minimum, il existe deux minima ou deux maxima qui peuvent être, à leur tour, suivis d'autres alternatives d'intensité.

Si on place les diaphragmes en 4, 5, 6... 4', 5', 6'..., c'est-à-dire, si on laisse libres les

(1) *Traité d'optique*, t. I, p. 104.

trois premiers éléments de l'onde, de chaque côté du pôle, l'effet produit en R sera accru. En déplaçant le résonnateur latéralement, le long d'un arc de cercle de centre O, afin de ne pas changer sa distance à l'oscillateur, on trouve, de chaque côté, une position dans laquelle l'étincelle est très faible. En continuant le mouvement, les étincelles ont tendance à augmenter jusqu'à ce qu'un maximum très marqué soit atteint ; les oscillations dans le résonnateur sont alors plus intenses que quand il est placé en R.

Cette expérience indique donc un maximum en R et deux minima de part et d'autre, suivis de deux maxima ; elle prouve l'existence de franges de diffraction.

La position des minima est sensiblement celle que prévoit la théorie, c'est-à-dire telle que, relativement à ces minima, on trouve environ deux éléments libres de l'onde d'un côté du pôle respectif et quatre environ de l'autre. On peut aussi, sans déplacer le résonnateur, réaliser sensiblement le même minimum, en plaçant les diaphragmes en 3, 4, 5,... et en 5′, 6′... En toute rigueur, cependant, la largeur de la fente de diffraction n'est pas, dans ce cas, exactement la même que dans le cas où l'on déplace le résonnateur.

Il en est de même pour la position des seconds maxima qui est telle que, en graduant l'onde par rapport à son axe, il reste environ un seul élément d'un côté du pôle et environ cinq de l'autre.

On peut aussi réussir cette expérience d'une façon presque identique, sans déplacer le résonnateur, en plaçant les diaphragmes en 2, 3, 4, 5... et en 6′, 7′...

Le centre du phénomène, dans les expériences précédentes, correspond à un maximum. Pour y obtenir un minimum, ce qui correspond au cas de l'ombre dans le centre de l'image de diffraction donnée par une fente étroite, il faut que l'ouverture soit faite de C en C′, ou bien de E en E′, etc.

Quand on place les diaphragmes en 3, 4, 5..., 3′, 4′, 5′..., les étincelles en R disparaissent ; si l'on déplace suffisamment le résonnateur à droite ou à gauche, elles prennent une grande intensité.

Dans ce cas aussi, la position des maxima correspond sensiblement à celle que la théorie fait prévoir. Ce phénomène est donc exactement semblable à celui des franges de diffraction à centre noir.

Si la fente n'a comme largeur que l'intervalle BB′, on n'obtient plus de maximum ou de minimum. Il en est de même, en optique, lorsque la fente est restreinte. L'intensité en R est cependant plus grande que quand on enlève tous les diaphragmes, comme on pouvait le prévoir.

24. *Diffraction produite par le bord d'un corps opaque. Autres phénomènes de diffraction.* — Si l'on couvre l'arc AF par les diaphragmes, ou bien si l'on place un grand diaphragme métallique terminé à gauche suivant la verticale en A et qui s'étend beaucoup à droite, l'intensité des radiations en R est considérablement réduite. En déplaçant le résonnateur vers la gauche, on observe nettement un maximum à une distance telle, qu'en graduant l'onde par rapport à la nouvelle position du résonnateur, il reste un seul élément à la droite du nouveau pôle.

La diminution des effets que produisent en R les éléments successifs 1, 2..., de l'onde, est si rapide qu'on ne peut réaliser facilement certains autres phénomènes de diffraction ; tel est le cas, par exemple, pour la diffraction dans l'ombre d'une bande opaque.

L'expérience suivante mérite d'être décrite, non par ce qu'elle est semblable à une expérience optique connue, car son analogue ne serait pas facile à exécuter avec la lumière, mais par ce qu'elle sert à éclairer certains phénomènes dont nous parlerons plus loin.

Le résonnateur est fixe en R ; on place un des diaphragmes de zinc — celui par exemple, qui correspond à l'élément 5, — successivement en différents points de l'onde, en le montant à l'extrémité extérieure d'un levier mobile pivoté en O. Dans ces conditions, on vérifie

que, suivant que la position du diaphragme mobile correspond à un des éléments impairs 1, 3, 5, etc., ou pairs 2, 4, etc., il se produit une diminution ou une augmentation de l'effet en R, ainsi que le faisait clairement prévoir la théorie. En déplaçant lentement le diaphragme de A en F, on voit les étincelles du résonnateur tantôt faibles ou nulles, tantôt plus vives que sans le diaphragme ; ce dernier fait s'observe précisément quand le diaphragme occupe la position d'un des éléments 2, 4, etc.

25. *Phénomènes particuliers produits par des masses diélectriques.* — Lorsque j'étudiais la transmission des radiations à travers différentes substances, j'eus l'occasion d'observer quelques faits singuliers qui, pendant longtemps, me semblèrent inexplicables, mais qui maintenant me semblent se rapporter à la diffraction et aussi au phénomène des *ondes secondaires* que nous étudierons plus loin (Chap. VII).

Si l'on place un corps diélectrique de moyennes dimensions entre le résonnateur et l'oscillateur, on observe le phénomène suivant :

Lorsqu'on place en ligne droite entre l'oscillateur et le résonnateur, un bloc de paraffine, il se produit tout à coup une sensible et parfois même notable augmentation des étincelles, augmentation qui disparaît lorsqu'on enlève le diélectrique. L'ébonite, le bois de sapin, l'huile d'olive, et la benzine (placée dans un récipient de bois, d'ébonite ou de verre mince), se comportent de même. La gomme laque et la colophane ne donnent que des résultats incertains.

Lorsqu'on déplace le diélectrique latéralement de façon à l'éloigner de l'axe du faisceau de radiations, on trouve rapidement une position pour laquelle le même diélectrique produit une diminution évidente des étincelles dans le résonnateur. En le déplaçant davantage, on constate une augmentation nouvelle. Ces phénomènes s'obtiennent avec tous les diélectriques nommés plus haut, même avec la gomme laque et la colophane.

Les résultats changent complètement pour d'autres diélectriques. Par exemple, avec le verre à miroir, on observe une diminution notable des étincelles dans le résonnateur, lorsqu'il est placé en ligne droite entre les deux appareils, et une augmentation d'intensité, au contraire, lorsqu'on le déplace latéralement d'une quantité convenable.

L'alcool placé dans un récipient en verre donne des résultats analogues, tandis que le soufre donne des résultats incertains ; ce dernier corps semble parfois se comporter comme le verre et quelquefois comme la paraffine [1]

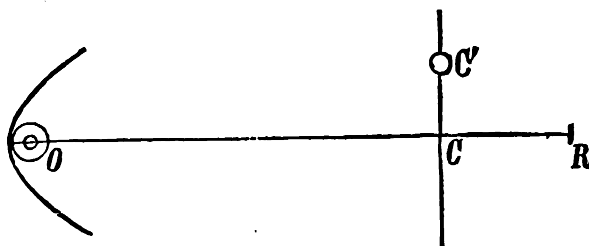


Fig. 12. — Disposition expérimentale pour étudier l'effet produit par l'introduction d'une masse diélectrique sur le trajet des ondes.

Il est commode de disposer l'expérience de la façon suivante.

L'oscillateur II est placé en O (fig. 12); il est muni de son miroir parabolique; à un mètre ou deux on dispose le résonnateur muni d'une lame amplificatrice ou d'un miroir très étroit (§ 10). Entre O et R, on place le cylindre C' formé du diélectrique en expérience. En général, ces cylindres avaient 4 cm. de diamètre et 30 cm. environ de longueur.

Le support sur lequel est placé le cylindre peut glisser entre deux guides, suivant une direction perpendiculaire à OR. Une échelle millimétrique, placée sur un des guides sert à déterminer la distance CC' de l'axe du cylindre à la droite OR. Comme on peut mesurer CR, on peut facilement calculer aussi C'R.

[1] Dans la seconde note citée plus haut, j'avais rangé la gomme laque dans le même groupe que le verre, en ne tenant compte que d'une partie des phénomènes décrits, les seuls que je connusse alors.

Voici une autre disposition expérimentale : Les appareils sont disposés comme pour l'expérience de diffraction (fig. 11), et le cylindre diélectrique est placé en différents points de l'arc F F', en le supportant par le bras pivoté en O, déjà employé dans la dernière expérience du § 24. Il est donc aussi très facile de mesurer de cette façon la distance entre le cylindre et le résonnateur. En réalité, la disposition représentée par la figure 12 n'est qu'un cas particulier de celle représentée en figure 11, puisqu'on peut considérer le plan CC' de la première comme une des surfaces d'ondes qui partent du réflecteur de l'oscillateur O, ondes qui doivent précisément être planes.

a. Considérons d'abord le cas où les étincelles diminuent d'intensité et tendent à se réduire à un minimum lorsqu'on déplace le cylindre de C vers C' (cas de la paraffine, de l'ébonite, etc.). Lorsque cette position du miminum est atteinte, on mesure la distance C C', d'où l'on déduit C' R, puisque C R est connu. Dans mes expériences, la différence C'R — CR fut toujours très voisine de 2,65 cm., c'est-à-dire de $\frac{\lambda}{4}$, même lorsque la distance CR variait dans de grande limites. On peut donc poser la relation.

$$C'R - CR = \frac{\lambda}{4}$$

Lorsqu'on augmente suffisamment la distance entre le cylindre et la droite O R, on trouve une nouvelle position pour laquelle on observe un maximum des étincelles en R. Dans ce cas, les mesures directes indiquent la relation

$$C'R - CR = \frac{3}{4}\lambda$$

b. Lorsque les étincelles augmentent par le déplacement du cylindre C (cas du verre), la position C' du cylindre pour laquelle les étincelles en R sont maxima est telle que la relation

$$C'R - CR = \frac{\lambda}{2}$$

se vérifie avec une exactitude suffisante.

Lorsque C'R — CR = λ environ, les étincelles deviennent très faibles.

c. La disposition suivante est l'inverse de la disposition *a*. Deux grandes lames, de paraffine, épaisses d'environ 4 cm,, sont disposées verticalement de façon qu'il reste entre elles un intervalle d'air d'environ 4 à 6 cm. de largeur. Le système des deux lames peut être déplacé le long de *cc'* (fig. 12), ou bien, avec la disposition de la figure 11, on le fixe sur la règle pivotée en O, de façon que le plan des lames soit tangent à l'onde cylindrique. D'une façon ou d'une autre, l'intervalle entre les deux lames peut se trouver en ligne droite entre O et R, ou bien occuper sur l'onde une position latérale.

Si on place l'intervalle des lames en ligne droite entre O et R, les étincelles en R augmentent d'intensité, lorsque les deux lames se déplacent latéralement.

L'expérience ne se prête cependant pas à une mesure ; en effet, des étincelles brillantes paraissent bien lorsque la distance entre le résonnateur et l'intervalle d'air a reçu une augmentation de $\frac{\lambda}{4}$, mais elles restent sensiblement invariables jusqu'à ce que cet accroissement soit devenu égal à $\frac{\lambda}{2}$; à partir de ce point, elles diminuent sensiblement d'éclat. N'était cette lente variation des étincelles avec la position occupée par l'intervalle d'air, on pourrait dire que le phénomène est dans ce cas (*c*), inverse de ce qu'on observe dans le cas (*a*).

d. J'ai substitué des lames de verre à miroir aux lames de paraffine, employées dans l'expérience (*c*). Comme je n'avais pas de lames d'épaisseur suffisante, j'en superposais quatre, de façon à former une épaisseur totale de 3 cm. environ. Les résultats que j'ai observés ne sont pas, comme on aurait pu s'y attendre, inverses des résultats du cas (*b*). Ils sont, au contraire, presque identiques à ceux du cas précédent. En fait, quand l'intervalle entre les lames est en ligne droite avec O et R, les

étincelles sont faibles ; elles augmentent lorsqu'on déplace les lames ; elles atteignent un maximum lorsque la distance entre l'intervalle et le résonnateur a augmenté de $\frac{\lambda}{2}$; ensuite, si le déplacement des lames est augmenté, les étincelles décroissent très lentement.

Naturellement, ces phénomènes, principalement les phénomènes (*a*) et (*b*) se produisent aussi lorsqu'on n'y prête pas attention, et ils peuvent, par conséquent, engendrer des erreurs. Ainsi, par exemple, si l'on veut concentrer les radiations avec une lentille convergente en paraffine, et si celle-ci n'est pas suffisamment grande, elle engendre l'effet (*a*), c'est-à-dire une augmentation des étincelles qui pourrait être, à tort, attribuée à la réfraction, et qui, de toute façon, doit altérer les résultats que produirait la lentille.

26. *Essai d'explication des phénomènes précédents.* — J'ai déjà, dans une note précédente, proposé une explication basée sur la diffraction. Je ne connaissais alors que les phénomènes (*a*), (*b*) et (*c*), encore je ne connaissais ces deux derniers que très imparfaitement. Les résultats plus complets que je viens d'exposer exigent que cette première explication soit modifiée.

La nouvelle explication, qui me semble encore incomplète, est basée non seulement sur la diffraction, mais encore sur un phénomène spécial de résonnance qui se produit vraisemblablement dans les diélectriques. Nous verrons plus loin (chap. VII) qu'un résonnateur en action se comporte comme une sorte d'oscillateur, c'est-à-dire qu'il engendre à son tour des ondes électriques dont la phase, en un point donné, est opposée à celles qu'ont, en ce même point, les ondulations émises directement par l'oscillateur, étant donné que le chemin parcouru par ces ondes, de l'oscillateur au résonnateur et de celui-ci au point considéré, est égal en longueur au chemin parcouru par les ondes directes entre l'oscillateur et ce point.

Il semble naturel de supposer qu'un semblable phénomène, produit dans un diélectrique quelconque peut être plus intense que dans l'air où le diélectrique est immergé [1]. Peut-être ce phénomène se produit-il dans l'air même ; mais, pour simplifier, nous tiendrons compte seulement de l'effet relatif, tout comme si, dans l'air, il n'existait pas. Nous admettrons donc :

α. Lorsqu'on applique le principe d'Huyghens au calcul de l'effet qu'une onde produit en un point donné, si une partie de l'onde est occupée par un diélectrique solide, on doit ajouter à l'effet que donnerait l'onde entière dans le cas où elle ne se propagerait que dans l'air, l'effet produit par cette sorte de résonance dans le diélectrique et l'on ne doit pas négliger la différence de phase égale à π, c'est-à-dire correspondant à une demi-onde, des ondes additionnelles provenant du diélectrique.

β. D'autre part, on sait que, dans l'application du principe d'Huyghens au calcul de l'action d'une onde lumineuse, il est nécessaire de supposer que l'onde élémentaire provenant d'un seul point de l'onde considérée est en avance de phase de $\frac{\pi}{2}$, comme si le chemin que parcourt l'onde élémentaire pour atteindre le point relativement auquel on calcule l'action de l'onde entière était moindre en réalité de la quantité $\frac{\lambda}{4}$ [2]. Trouton cherchait à expliquer cette avance de phase en partant de l'expression donnée par Hertz pour la force électrique et magnétique à l'intérieur d'un oscillateur rectiligne [3], en supposant que cette expression était valide même quand les ondes ont pour cause des oscillations électriques excitées dans un diélectrique.

γ. Enfin, nous tiendrons compte de ce fait

[1] Une hypothèse semblable a été faite par Trouton. — *Phil. Mag.*, t. XXIX, p. 274.

[2] Voir par exemple : MASCART, *Traité d'optique*, t. I, p. 250.

[3] HERTZ, *Wied. Ann.*, t. XXXVI, p. 1, 1888. « Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft. » Leipzig, 1892, p. 147.

qui sera mis en évidence plus loin (§ 40), à savoir qu'il se produit une notable diminution d'intensité dans les radiations qui traversent une lame de verre, comme si ce corps produisait une absorption.

Les expériences (*a*) (*b*) et (*c*) s'expliquent assez bien par ces considérations. Quant à l'expérience (*d*) elle ne contredit pas, tout au moins, d'une façon décisive, cette explication.

Expérience a. — Soient (fig. 13) R le résonnateur; AB une onde qui ne l'a pas encore atteint; C le pôle de cette onde par rapport à R. On peut supposer que l'onde est

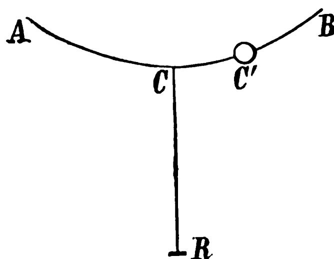


Fig. 13.

cylindrique comme dans le cas de la figure 11 ou qu'elle est plane comme dans le cas de la figure 12. Si un diélectrique — un bâtonnet de paraffine, par exemple, — se trouve sur l'onde en C', l'action totale de l'onde en R se composera :

1° De l'action qui existerait si le cylindre C' était éliminé;

2° De l'action supplémentaire provenant de ce que l'on a en C' de la paraffine au lieu d'air.

Si l'on prend comme unité l'amplitude des oscillations en R lorsque le cylindre n'existe pas, et si l'on représente par a celle des oscillations en R dues à la résonance dans la paraffine, l'intensité totale en R, lorsque C' est en place sera, d'après la règle de Fresnel en

$$1 + a^2 + 2a \cos \varphi,$$

représentant par φ la différence de phase de la partie supplémentaire qui atteint le diélectrique solide. La quantité a sera moindre que 1. Supposons que la paraffine se trouve en C. Dans ce cas, φ se réduit à l'avance de phase $\frac{\pi}{2}$ (β) et à la différence de phase π (α). Donc, $\cos \varphi = 0$ et l'intensité se réduit à $1 + a^2$.

La présence du diélectrique en C augmente donc les étincelles en R puisque, sans cela, l'amplitude des oscillations serait égale à l'unité.

En second lieu, supposons que le diélectrique soit en un point C' tel que

$$C'R - CR = \frac{\lambda}{4}.$$

Le plus grand chemin C'R — CR des ondes qui proviennent de C' compensera l'avance de phase (β) et, par conséquent, il ne restera que la différence de phase (α); on aura alors $\cos \varphi = 1$, et l'intensité deviendra

$$1 + a^2 - 2a = (1 - a)^2.$$

L'effet en R est donc moindre qu'en l'absence du diélectrique.

Si $C'R - CR = \frac{3}{4} \lambda$, on a évidemment $\cos \varphi = 1$ et l'intensité devient

$$1 + a^2 + 2a = (1 + a)^2$$

c'est-à-dire qu'elle est plus grande, non seulement qu'en l'absence complète du diélectrique, mais encore que quand celui-ci est placé en C.

Expérience b. — Pour expliquer l'effet produit par le verre, on peut supposer que le phénomène qui se produit dans le cas (*a*) existe, mais qu'il est masqué par l'affaiblissement que le verre produit dans les radiations qui le traversent. Nous examinerons donc les conséquences de cette diminution d'intensité.

Si, dans les expériences optiques de diffraction, on substitue aux diaphragmes des corps simplement moins transparents que l'air ambiant, et d'égal indice de réfraction, les phénomènes mêmes ne seront modifiés que dans leur intensité. En fait, on doit alors considérer la superposition : 1° Du phénomène ordinaire de diffraction produit avec une intensité de

lumière égale à celle absorbée par le diaphragme mi-transparent; 2° de l'éclairage produit par une intensité lumineuse égale à celle que fournit le diaphragme lui-même. Si le corps absorbant a un indice de réfraction plus grand que celui de l'air, il faut tenir compte du retard qu'il produit, retard qui aura pour conséquence un déplacement des maxima et des minima; ce déplacement sera assez petit si le corps est assez mince pour ne produire qu'un retard égal à une petite fraction de la longueur d'onde. De même, si, dans l'expérience électrique de diffraction décrite dans le premier paragraphe de ce chapitre, on substitue une lame de verre à une lame métallique, il n'en résulte d'autre modification que de rendre les minima moins différents des maxima, ce qui correspond, en particulier, à la dernière expérience du § 24. Si, au lieu de la lame mobile de zinc, on emploie une lame ou une tige de verre de largeur suffisante pour couvrir une des bandes élémentaires AB, BC, CD,... de la figure 11, on aura un minimum en R quand la lame couvrira les bandes AB et CD, et un maximum quand elle couvrira BC et DE....

Si la lame métallique ou vitreuse n'a pas une largeur suffisante, on ne peut prévoir dans quelle portion de AB ou de BC on doit la placer pour produire le plus grand affaiblissement, ou la plus grande augmentation des étincelles en R.

Si l'on répète l'expérience du paragraphe 24 en mettant en place de la lame de zinc un tube métallique à peu près de la grosseur du cylindre de verre de l'expérience (*b*) on trouve que le plus grand affaiblissement a lieu lorsque le tube est en A ou un peu plus loin, et la plus grande augmentation quand il est en B ou assez près. C'est précisément ce qui s'observe dans l'expérience (*b*) avec le cylindre de verre. Ce phénomène (*b*) est donc un phénomène de diffraction dans lequel le verre se comporte comme un corps absorbant.

Expérience c. — Dans ce cas, le diélectrique, que nous supposerons être un bloc de paraffine, occupe toute l'onde AB, à l'exception d'un certain intervalle vertical où se trouve de l'air.

Prenons comme unité l'intensité des oscillations en R lorsque l'intervalle d'air n'existe pas; lorsqu'on le fait intervenir, il faut tenir compte de ce que les oscillations de résonance ne s'y produisent pas, oscillations qui produiraient en R l'intensité a.

L'intensité en R sera donc :

$$1 + a^2 - a \cos \varphi$$

en représentant par φ la différence de phase des vibrations en R provenant de l'intervalle d'air relativement aux vibrations résultant de l'onde entière.

Cela posé, supposons d'abord que l'intervalle d'air se trouve en C (fig. 13). La différence de phase φ sera égale à π, en vertu de (α) et égale à $\frac{\pi}{2}$ en vertu de (β); donc, $\cos \varphi = 0$ et l'intensité R est égale à

$$1 + a^2$$

Si, en second lieu, l'intervalle d'air est en C' et si l'on a $C'R - CR = \frac{\lambda}{4}$ ce retard compense l'avance de phase (β); on a

$$\cos \varphi = -1$$

et l'intensité devient

$$1 + a^2 + 2a = (1 + a)^2$$

Donc, l'intensité est maxima quand la condition $C'R - CR = \frac{\lambda}{4}$ est satisfaite. Si l'on avait $C'R - CR = \frac{3}{4}\lambda$, on aurait alors

$$\cos \varphi = 1$$

et l'intensité R prendrait la valeur

$$1 + a^2 - 2a = (1 - a)^2.$$

Elle serait minima; elle serait même plus faible que quand l'intervalle d'air est au pôle C de l'onde. Comme on voit, l'expé-

rience (*c*) peut être expliquée dans ses principales particularités. Si l'expérience ne correspond pas très exactement dans ses détails avec l'explication, cela peut être en partie attribué au retard subi par les radiations qui traversent la paraffine. Ce retard, dans le cas de l'expérience (*c*) était d'environ $\frac{1}{6}$ d'oscillation.

Expérience d. — Enfin, l'effet de résonance dans le verre prédomine dans l'expérience (*d*), ce qui est peut-être dû à ce que la masse de verre employée est ici notablement plus grande que dans le cas de l'expérience (*b*). L'expérience (*d*) est donc identique à l'expérience (*c*), sauf toutefois que, tandis que les maxima devraient se produire quand l'intervalle d'air est en un point C′ (fig. 13) tel que $C'R - CR = \frac{\lambda}{4}$, ils ont lieu lorsque $C'R - CR = \frac{\lambda}{2}$. La réflexion sur le bord de la lame de verre contribue peut-être un peu à cet effet.

L'expérience (*d*) ne peut donc s'expliquer complètement; mais, tout au moins, elle n'entraîne aucune conséquence qui contredise l'explication générale.

Cette explication des singuliers phénomènes décrits dans le paragraphe précédent est incomplète et provisoire; elle pourra subir des modifications importantes; mais je crois que, dans ses lignes générales, elle rend compte des faits observés.

Quant aux phénomènes optiques analogues, il est évident qu'ils ne peuvent être facilement réalisés en raison de la nécessité qui se présenterait alors d'employer des corps de dimensions extrêmement réduites.

CHAPITRE IV

RÉFLEXION

27. *Lois de la réflexion.* — Les ondes électriques se réfléchissent comme les ondes lumineuses et obéissent aux deux mêmes lois bien connues. Cela résulte des expériences originelles de Hertz exécutées avec des lames métalliques planes ou avec des réseaux de fils parallèles, comme aussi, implicitement, de l'effet que produisent les réflecteurs paraboliques.

L'expérience suivante montre ce fait d'une manière encore plus évidente, puisqu'elle est analogue à celle qu'on répète si souvent dans les cours pour montrer la réflexion du son et de la chaleur rayonnante.

J'ai pris deux miroirs sphériques concaves en métal employés pour montrer la réflexion du son et de la chaleur; ils ont 44 cm. de diamètre et 18,6 cm. de distance focale; je les ai placés en face l'un de l'autre à 5 ou 6 m. de distance, et j'ai disposé au foyer de l'un d'eux l'oscillateur II, tandis qu'au foyer de l'autre était disposé un résonateur II. Ce dernier donnait des étincelles assez vives qui disparaissaient lorsqu'on interposait entre les miroirs une lame de métal ou le corps de l'expérimentateur.

On peut aussi exécuter une expérience de réflexion en disposant les deux miroirs concaves de telle façon que leurs axes forment un certain angle, et en plaçant au sommet de celui-ci une lame plane, normale à sa bissectrice.

Lorsqu'on dérange un peu la lame de son orientation exacte, les étincelles disparaissent dans le résonnateur. La lame plane peut être métallique ou diélectrique; dans ce dernier cas, elle doit être suffisamment épaisse. Une lame de verre donne des effets notables, même si elle est très mince, ainsi que nous l'avons dit dans le paragraphe 20 (*a*)

On peut conclure de ces expériences que les miroirs sphériques peuvent être substitués aux miroirs cylindriques qu'on joint d'ordinaire aux oscillateurs et aux résonnateurs. La seule raison qui puisse faire préférer les derniers réside dans la plus grande facilité de leur construction.

Si, de l'étude géométrique de la réflexion on passe à l'étude physique de ce phénomène, c'est-à-dire si, au lieu de s'occuper de la seule

direction des radiations réfléchies, on veut étudier aussi quelle est leur intensité dans différents cas et la direction de leurs vibrations, il est facile de prévoir qu'on obtiendra, avec les vibrations électriques, des phénomènes analogues à ceux que produit la lumière polarisée, puisque les radiations électriques engendrées par les oscillateurs sont, par leur nature, polarisées.

Les expériences doivent pouvoir, au moins, fournir une confirmation directe de la théorie électromagnétique de la lumière, d'après laquelle le plan de polarisation doit être parallèle à la direction de la force magnétique et perpendiculaire à celle de la force électrique. En d'autres termes, en admettant, avec Fresnel, que la direction des vibrations dans un rayon polarisé est perpendiculaire au plan de polarisation, on doit trouver que la direction de la force électrique doit correspondre à la direction des vibrations de l'éther dans la théorie de Fresnel. Nous reviendrons sur ce point à la fin de ce mémoire.

Nous étudierons séparément la réflexion sur les métaux et sur les diélectriques, en commençant par le dernier cas.

28. *Réflexion sur les diélectriques. Disposition des expériences.* — Quelques expériences de réflexion des ondes électriques sur des diélectriques furent faites par Trouton [1] et par Klemencic [2]. Le premier, en faisant réfléchir les radiations obliquement sur un mur d'environ 1 mètre d'épaisseur, donna la confirmation de l'existence prévue d'un angle de polarisation. Le second, en étudiant la réflexion sur une lame de soufre, obtint le même résultat. Cependant, l'accord entre ses résultats et ceux que donne le calcul avec la formule de Fresnel, n'est pas, en général, satisfaisant.

Les appareils II permettent d'étudier commodément la réflexion dans des conditions plus avantageuses, parce que le faisceau de radiations émis par le miroir de l'oscillateur a une largeur de six à sept fois la longueur d'onde et qu'une lame diélectrique réfléchissante qui utilise tout le faisceau ne prend pas pour cela des dimensions excessives. Il fait cependant observer que, si la lame diélectrique est à faces parallèles et n'est pas suffisamment épaisse, la réflexion sur la seconde face et les réflexions multiples internes peuvent altérer les résultats.

Pour les expériences de réflexion, la surface réfléchissante est placée sur la plateforme tournante S (fig. 3), de façon qu'elle soit verticale et perpendiculaire au faisceau de radiations qui provient du miroir BC, lorsque la graduation du disque S est au zéro. La lame diélectrique se place à une hauteur telle que le plan horizontal passant par l'axe de rotation de l'oscillateur la partage en deux parties égales. Le résonnateur, au lieu d'être placé comme dans la figure 3, est placé sur le bras mobile TV.

Il faut avoir grand soin que les ondes directes n'agissent pas sur le résonnateur lorsque, l'angle d'incidence étant assez grand, le résonnateur est presque tourné vers l'oscillateur. Pour cela, la distance entre l'oscillateur et le corps réfléchissant et entre celui-ci et le résonnateur devra être aussi grande qu'il est possible en tenant compte de la sensibilité du résonnateur, et on devra placer immédiatement au-devant de la lame réfléchissante un large diaphragme métallique muni d'une ouverture circulaire de 20 à 30 cm.

En tournant la plate-forme S, on donne à l'angle d'incidence i la valeur qui convient le mieux et, pour recevoir dans le résonnateur les radiations réfléchies, on place le bras TU de façon qu'il fasse, avec la direction des radiations incidentes, un angle égal à $180° - 2i$, angle qui se lira sur la graduation tracée sur la base PQ.

En faisant ensuite tourner l'oscillateur autour de son axe et en lisant sa position sur le cercle gradué E qui l'accompagne (fig. 2), on peut obtenir que les vibrations incidentes

(1) TROUTON, *Nature*, t. XXXIX, n° 1008, p. 393. *La Lumière électrique*, t. XXXI, p. 239.

(2) KLEMENCIC, *Wiener Berichte*, Januar 1891, p. 109. *La Lumière électrique*, t. XLI, p. 223.

soient ou perpendiculaires ou parallèles au plan d'incidence ou bien qu'elles soient inclinées, par rapport à ce plan, d'un angle quelconque.

29. *Expériences relatives à la réflexion sur les diélectriques.* — J'ai étudié, avec les appareils décrits, la réflexion sur le soufre, la paraffine et le verre.

Dans le cas du soufre, la surface réfléchissante était une des faces d'une lame de soufre prismatique. Les radiations réfléchies intérieurement ne pouvaient ainsi se superposer à celles qu'on étudiait et altérer les résultats.

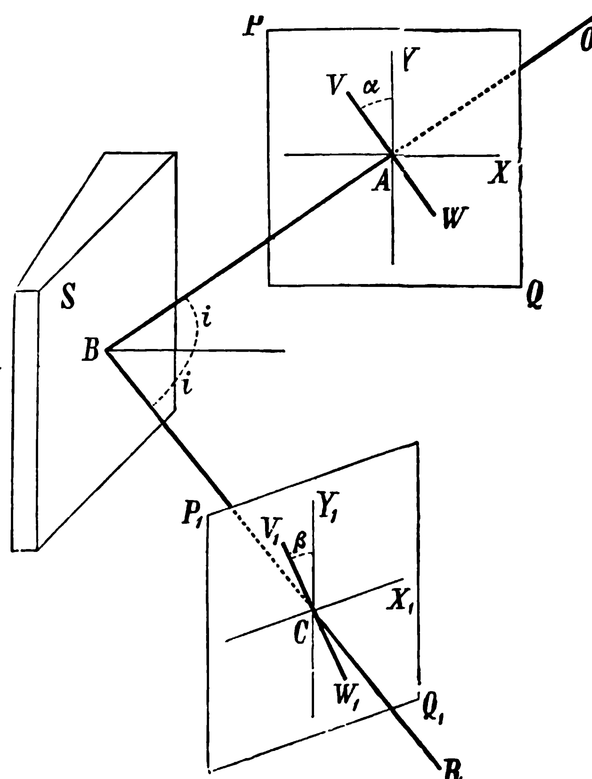


Fig. 14. — Etude de la réflexion des ondes sur les diélectriques.

Dans une autre série d'expériences, j'ai fait réfléchir les radiations sur la plus grande face du biprisme décrit dans le paragraphe 17.

De même, pour la réflexion sur la paraffine, j'ai fait usage d'un bloc prismatique ou d'un grand prisme à base trapézoïdale qui sera décrit dans le paragraphe 38.

L'intensité des radiations réfléchies est notablement plus faible qu'avec le soufre comme pouvait le faire prévoir le plus faible indice de la paraffine.

Enfin, j'ai estimé la réflexion produite par une lame de verre à miroir à faces parallèles, épaisse d'environ 0,7 cm. Quoiqu'elle fût assez mince, elle donnait une forte réflexion, tandis qu'une autre lame mince de paraffine ou de soufre ne produisait qu'une très faible réflexion, en raison de l'interférence ; ce phénomène est analogue à la tache noire dans les anneaux de Newton. En raison de cette singulière façon de se comporter du verre, dont j'ai déjà parlé et sur laquelle je reviendrai ensuite, les résultats obtenus ne doivent être acceptés que sous toutes réserves.

Les résultats obtenus avec ces trois diélec-

triques concordent absolument avec les phénomènes optiques correspondants.

Pour la clarté de l'exposition, je supposerai qu'on observe les vibrations incidentes VW dans la direction de leur propagation, de la surface réfléchissante S vers l'oscillateur O (fig. 14) et les vibrations réfléchies $V_1 W_1$ dans la direction de leur propagation, du résonnateur R vers la surface réfléchissante S. Tant sur un rayon incident O B que sur le rayon relatif réfléchi BR_1, on prend un point quelconque A ou C, et l'on mène par chacun de ces points un plan normal au rayon; ensuite, sur ces deux plans PQ et $P_1 Q_1$, on trace deux axes rectangulaires, un horizontal AX ou CX_1, et un vertical AY ou CY_1. Nous appellerons α l'angle que les vibrations électriques VW sur le rayon incident font avec l'axe vertical, et β, l'angle que la vibration réfléchie fait avec l'axe vertical, en prenant les angles comme positifs lorsqu'ils sont comptés en sens inverse des aiguilles d'une montre.

L'angle α peut être mesuré sur le cercle gradué de l'oscillateur; on peut lui donner à volonté une valeur quelconque. Si l'on fait $\alpha = 0$, c'est-à-dire, si l'on dispose verticalement l'axe de figure de l'oscillateur, les vibrations incidentes seront perpendiculaires au plan d'incidence OBR qui est horizontal. Si l'on fait au contraire $\alpha = 90°$, c'est-à-dire, si l'on dispose horizontalement l'axe de l'oscillateur, les vibrations incidentes seront dans le plan d'incidence.

Dans le premier cas, les vibrations réfléchies seront elles-mêmes verticales et, par conséquent, pour les recueillir en entier et les faire agir sur le résonnateur, il faut faire $\beta = 0°$ dans le premier cas et $\beta = 90°$ dans le second. Les valeurs de β peuvent être lues sur le cercle gradué du résonnateur.

Dans ces deux cas, où l'on connaît l'orientation de la vibration refléchie, on peut obtenir une mesure relative de son intensité par la méthode (*b*) du paragraphe 9, c'est-à-dire en observant la valeur de l'angle dont on doit tourner le résonnateur à partir de l'orientation, verticale ou horizontale, respectivement dans les deux cas, afin d'éteindre ses étincelles ou d'en réduire l'intensité et la fréquence à une même valeur constante assez faible. On parvient ainsi à avoir une mesure relative des coefficients, qu'on désigne en optique par h et k, pour différentes valeurs de l'angle d'incidence i. Par les formules de Fresnel relatives à la réflexion de la lumière sur les corps transparents, on obtient alors :

$$h = -\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}, \qquad k = \frac{\operatorname{tg}(i-r)}{\operatorname{tg}(i+r)} \quad (^1)$$

et

$$\frac{k}{h} = -\frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$$

d'où l'on tire

$$\sin r = \frac{\sin i}{n}$$

n étant l'indice de réfraction du corps employé.

Si α a une valeur comprise entre 0° et 90°, β est aussi plus petit que 90°. Cet angle β peut être déterminé par la méthode (*a*, § 9). Dans le cas de la réflexion de la lumière, on a :

$$\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\alpha \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$$

Si, en particulier, $\alpha = 45°$, la détermination de β fera connaître le rapport de h et de k, puisque, dans ce cas, on a évidemment :

$$\operatorname{tg}\beta = -\frac{k}{h}$$

Expérience a : $\alpha = 0$. — L'oscillateur ayant son axe vertical et en faisant varier i, j'ai reconnu que, dans tous les cas, les radiations réfléchies augmentent d'intensité quand i augmente aussi. Donc, h croît avec l'incidence, précisément comme dans le cas de la lumière.

Expérience b : $\alpha = 90°$. — L'axe de l'oscillateur est horizontal et, partant, les vibrations électriques incidentes sont dans le plan d'incidence. Dans ce cas, l'intensité de la radiation

(1) J'ai dû prendre positivement les valeurs de k en raison de la façon dont j'ai choisi la direction positive des axes.

réfléchie commence à diminuer lorsque i augmente, jusqu'à devenir sensiblement nulle; ensuite elle croît jusqu'à la plus grande incidence observée. Le coefficient k a donc la même allure qu'en optique, et il faut admettre que, *dans les ondulations électro-magnétiques, la force électrique est perpendiculaire au plan de polarisation*, comme le veut la théorie électromagnétique de la lumière.

k s'annule pour une valeur de i comprise entre 60° et 64° pour le soufre, et entre 52° et 59° pour la paraffine. Or, si nous admettons les valeurs $n = 1,87$ et $n = 1,43$ pour l'indice de réfraction de ces deux substances, leurs angles de polarisation doivent être respectivement 61°52 et 55°2'.

Expérience c : $0° < \alpha < 90°$. — On sait qu'en optique, k change de signe à l'angle de polarisation ; si VW (fig. 14) est la vibration sur le rayon incident, celle sur le rayon réfléchie fait un angle β négatif, quand i est compris entre 0° et l'angle de polarisation, et un angle β positif quand i est compris entre l'angle de polarisation et 90°; dans les deux cas, on a toujours $\beta < \alpha$. Dans la figure 14, la vibration réfléchie V_1W_1 est représentée pour les cas où i est plus grand que l'angle de polarisation, tandis que pour une valeur de i plus petite que cet angle, la vibration de $V_1 W_1$ devrait être placée à l'intérieur de l'angle X_1CY_1. Naturellement, nous ferons ici abstraction des phénomènes de polarisation elliptique qui se produisent aux incidences très voisines de l'incidence de polarisation.

Il me parut assez intéressant d'obtenir, avec les radiations hertziennes, la vérification du changement de signe de la vibration électrique parallèle au plan d'incidence. L'expérience, par suite de la disposition adoptée, est très facile à exécuter. On incline l'oscillateur de façon que son axe de figure fasse avec la verticale un angle quelconque α qui doit, pour obtenir les meilleurs résultats possibles, être peu différent de 45°, et l'on donne à i une valeur suffisamment faible, 45°, par exemple. On reconnaît alors que β est négatif, c'est-à-dire que, pour rendre maxima les étincelles dans le résonnateur, il faut le tourner dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, à partir de la position dans laquelle il est vertical. On reconnaît, en outre, que l'angle β est numériquement moindre que α.

On donne ensuite à i la valeur de l'angle de polarisation; on trouve que le résonnateur doit rester vertical pour que les étincelles y soient maxima.

Enfin, donnons à i une valeur supérieure à l'angle de polarisation, 70°, par exemple. Dans ce cas, en tournant le résonnateur à partir de la verticale dans la première direction, on y voit les étincelles diminuer au lieu d'augmenter comme dans le cas où l'on avait $i = 45°$. Pour donner à ces étincelles leur plus grande intensité, il faut tourner le résonnateur dans la direction inverse à la première, c'est-à-dire dans le sens pris comme positif. Donc, β est maintenant positif, comme il était prévu; en outre, on peut vérifier qu'il est encore numériquement inférieur à α.

Expérience d : $\alpha = 45°$. — Dans ce cas, comme on le sait déjà, la mesure de β fait connaître le rapport $\frac{k}{h}$. J'ai pris quelques mesures avec le soufre et j'ai obtenu les résultats contenus dans le tableau II ci-après; la première

TABLEAU II.

i	β	tg β	$\frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$
45°	— 25°	0,47	0,42
50°	— 19°	0,34	0,30
55°	— 11°	0,19	0,18
60°	— 5°	0,09	0,05
65°	7°	0,12	0,09
70°	18°	0,32	0,25

colonne de ce tableau contient les valeurs de l'angle d'incidence i; la seconde, l'angle mesuré β; la troisième, la valeur de tg $\beta = \frac{k}{h}$; la quatrième, la valeur de $\frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$ qui doit être

égale à $\frac{K}{h}$ d'après les formules de Fresnel. Dans les deux dernières colonnes, il est fait abstraction du signe.

L'exactitude avec laquelle les mesures de β peuvent être prises étant nécessairement faible, je ne donne aucune importance aux petites différences qui existent entre quelques nombres de la 3e colonne et les nombres correspondant de la 4e colonne. Je crois que l'allure générale des valeurs de $\frac{k}{h}$ est suffisamment démontrée par les chiffres obtenus pour conclure aussi, dans ce cas, à l'analogie complète avec le phénomène optique correspondant.

Expérience e : comparaison entre k et h. — En optique, k est toujours moindre que h. Il en est de même pour les radiations électriques, comme on peut le vérifier par un des deux procédés suivants.

Donnons à i une valeur constante, et plaçons alternativement horizontalement et verticalement, tant l'oscillateur que le résonnateur. Les étincelles seront toujours plus vives dans le premier cas que dans le second.

Le procédé suivant est plus commode. L'oscillateur est immobile sur son axe, et incliné à 45 degrés sur la verticale, c'est-à-dire qu'on a constamment $\alpha = 45°$; on place le résonnateur alternativement dans une direction verticale ou horizontale, c'est-à-dire qu'on fait $\beta = 0°$ ou $\beta = 90°$. Les étincelles seront toujours plus intenses dans le premier cas que dans le second.

Dans cette expérience, l'oscillation incidente équivaut à ses deux composantes égales entre elles, prises suivant la verticale et l'horizontale; l'une ou l'autre seulement de ces composantes agit sur le résonnateur lorsqu'il se trouve dans un de ses deux orientations principales.

Les expériences de réflexion sur les diélectriques sont donc en tous points conformes aux prévisions. Il faut cependant réserver la réflexion sous des angles d'incidence assez grands, car il devient alors très difficile d'éviter les erreurs provenant de l'action directe de l'oscillateur sur le résonnateur.

(*A suivre.*)

A. RIGHI,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Méthode phonographique pour l'inscription des courants alternatifs, par C. J. Rollesson [1].

Dans notre compte rendu du meeting de Brooklyn de l'Association américaine, pour l'avancement des sciences [2], nous signalions la communication de M. Rollesson sur l'inscription phonographique des courants alternatifs. Les figures 1 et 2 montrent schématiquement les appareils employés pour réaliser les deux opérations que nécessite cette méthode, savoir : l'inscription sur le cylindre de cire du phonographe et l'amplification de cette inscription.

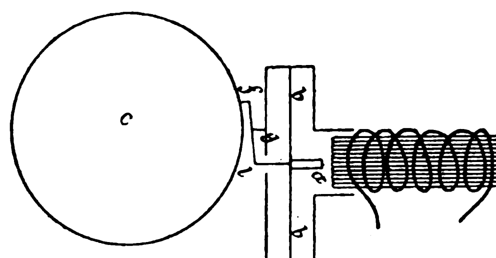


Fig. 1. — Inscription phonographique du courant.

Dans la figure 1, qui représente le dispositif employé pour l'inscription, a est un petit barreau d'acier aimanté fixé au centre d'un diaphragme en verre mince b. Dans le voisinage de cet aimant se trouve un électro-aimant

[1] *Physical Review*, t. II, p. 141-143.
[2] *L'Éclairage électrique*, t. I, p. 276.

formé d'un petit paquet de fils de fer fins entouré par quelques spires d'un fil de cuivre isolé. On lance le courant à étudier dans ce fil et, sous l'action du champ magnétique ainsi créé, l'aimant *a* et le diaphragme *b* se déplacent. Un levier *lf* mobile autour de *g* et terminé par une pointe de saphir *f*, inscrit les déplacements du diaphragme sur le cylindre de cire C du phonographe.

Pour amplifier les détails de l'inscription, on enlève le diaphragme de verre et on attache, par un fil *d* (fig. 2), l'extrémité *l* du levier à un prisme de cuivre B, reposant par l'intermédiaire de deux petits rouleaux de verre, sur un second prisme B′, fixé à la monture de l'appareil. Un ressort ou un fil de caoutchouc *r* tend constamment le fil *d*; une bague de caoutchouc *n* maintient les deux prismes de cuivre serrés contre les rouleaux qui les séparent. Quand on fait tourner le cylindre de cire C, le levier *f l* met B en mouvement et les petits rouleaux de verre se déplacent. L'un de ces rouleaux *m* porte un petit miroir sur lequel on fait tomber un faisceau lumineux; le faisceau réfléchi vient frapper une échelle divisée et les déplacements de la tache lumineuse sur cette échelle sont observés avec une lunette.

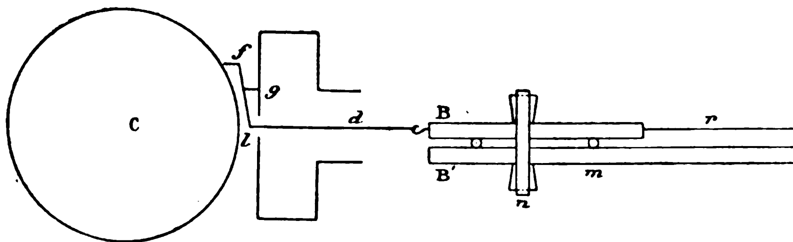


Fig. 2. — Application de l'inscription phonographique.

Quelques expériences préliminaires ont été faites avec ces appareils ; les résultats qu'elles ont donnés sont, d'après l'auteur, très satisfaisants. On pourrait cependant reprocher à cette méthode d'inscription de faire usage de pièces matérielles mobiles dont l'inertie n'est pas négligeable. Mais l'auteur ne croit pas que ce reproche soit bien fondé, car on peut rendre les déplacements du diaphragme de verre extrêmement faibles, si faibles même que les entailles du cylindre de cire soient à peine visibles à l'œil nu, sans trop réduire la sensibilité de la méthode. D'ailleurs, dans la seconde opération, l'amplification des inscriptions, l'inertie n'intervient pas, les diverses parties de l'appareil n'étant pas en mouvement aux moments où l'on fait les lectures.

J. B.

Economie comparative du courant monophasé et des courants polyphasés, par H. Georges (1)

Les avantages du courant alternatif pour la transmission de l'énergie électrique à grande distance étant aujourd'hui généralement reconnus, il se pose une nouvelle question, celle du système à adopter. Nous avons le courant alternatif simple ou monophasé et les courants polyphasés, chacun de ces systèmes comportant plusieurs subdivisions, de sorte que l'on peut donner la classification suivante, schématisée par les figures 1 à 6 :

A. Courant monophasé.

I. Système à deux fils.
II. Système à trois fils (fig. 1).
III. Système à transformateurs individuels.

(1) Communication faite à l'*Elektrotechnischer Verein*, de Berlin.

B. Courants polyphasés.

I. Courants triphasés.

(*a*) Montage en triangle et montage en étoile (fig. 2 et 3).

(*b*) Montage en étoile, avec quatrième conducteur (fig. 4).

II. Courants biphasés.

(*a*) A quatre fils (fig. 5).

(*b*) A trois fils (fig. 6).

On serait conduit trop loin si l'on voulait comparer tous ces genres entre eux ; la question importante est de choisir entre les courants mono ou polyphasés, et dans ce dernier cas, entre les courants tri ou biphasés. Le choix est déterminé par les frais d'établissement et d'exploitation, ainsi que par la simplicité et les avantages pratiques du système.

Au point de vue purement théorique, ce sont les courants polyphasés qui se présentent comme les plus avantageux. La raison principale en est que l'enchaînement des circuits diminue l'intensité de courant, et par suite la perte calorifique pour la même quantité de conducteurs. C'est ce qu'on reconnaît facilement quand on compare les courants biphasés à quatre fils et ceux à trois fils. Par la combinaison de deux branches, le courant n'est pas doublé, mais multiplié seulement par $\sqrt{2}$. Si la résistance d'un fil dans le système à quatre conducteurs, est égale à R, celle du fil pour le courant combiné dans le système à trois fils égale à R_1, on a, à échauffement égal dans ces deux fils et dans le fil combiné

$$2\,I^2R = (\sqrt{2}\,I)^2\,R_1$$

$$R = R_1$$

Par l'entrecroisement des circuits on peut donc simplement économiser un fil, sans augmenter la perte calorifique. Pour économiser du cuivre il est donc recommandable d'utiliser autant que possible l'enchaînement des circuits. C'est ce que permettent avec le plus de facilité, comme nous le verrons, les courants triphasés.

Pour les machines et les moteurs on peut prendre une autre base générale de comparaison. Toutes choses égales d'ailleurs, on peut admettre que la réaction d'induit et la dispersion magnétique sont proportionnelles à l'intensité

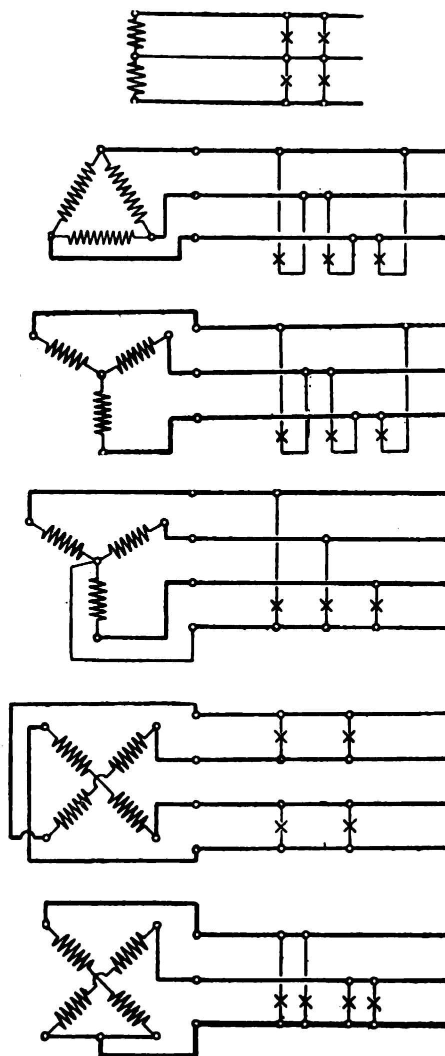


Fig. 1 à 6. — Systèmes de distribution par courants polyphasés.

de courant. La dispersion joue un grand rôle surtout dans les moteurs. En suivant les lignes de force du point où elles pénètrent dans l'anneau extérieur à celui où elles en sortent, la différence des potentiels magnétiques entre ces deux points est proportionnelle au nombre d'ampères-tours, c'est-à-dire à l'intensité de

courant. Quand celle-ci augmente, sans que le flux de force augmente, cela ne peut provenir, à résistance magnétique égale, que de l'existence ou de l'accroissement d'une force magnétomotrice de réaction. Les lignes de force perdues par dispersion peuvent être assez exactement supposées proportionnelles à la différence de potentiel magnétique entre les points où elles quittent l'anneau. Or, à puissance égale, les intensités des courants mono, bi et triphasés sont entre elles comme

I	II	III
Monophasé	Biphasés	Triphasés
1	1/2	$1/\sqrt{3}$
100	50	57,8

La réaction d'induit et la dispersion sont donc avec le courant alternatif simple près de deux fois plus importantes que pour les courants polyphasés. Les courants biphasés sont un peu supérieurs aux courants triphasés.

Considérons maintenant de plus près les différentes parties d'une installation. Pour les machines dont l'armature est formée d'un anneau de fer sans projections polaires, on a démontré, à différentes reprises, que les courants polyphasés permettent une bien meilleure utilisation que le courant simple. Si l'enroulement est distribué uniformément sur toute la circonférence, les puissances obtenues avec la même induction dans le fer sont entre elles dans les trois cas comme

I	II	III
Courant simple	Biphasé	Triphasé
66,7	94,5	100

c'est-à-dire comme les périphéries des polygones de 2, 4 et 6 côtés inscrits dans le même cercle. Pour le courant alternatif, il n'est, toutefois, pas avantageux d'enrouler l'anneau entier, parce qu'aux deux extrémités les bobines des spires voisines sont parcourues par des courants de sens opposés. De même que, dans le moteur, les actions de ces spires se neutralisent, de même elles ne contribuent, dans les génératrices, que très peu à la production de la force électromotrice. Avec un anneau bipolaire à six bobines, on obtient en employant une, deux ou trois paires de bobines les forces électromotrices 1, 1,732 et 2. Le dernier tiers ne produit donc qu'une augmentation de 15,5 p. 100, mais augmente d'un autre côté la résistance et la perte calorifique de 50 p. 100. Ce dernier tiers augmente d'ailleurs la réaction d'induit ; il vaut donc mieux s'en passer. On voit alors qu'avec le courant alternatif simple à deux paires de bobines, et le courant triphasé à trois paires de bobines la même intensité de courant produit la même réaction d'induit. Au point de vue de la réaction d'induit, la machine fournit donc bien plus avec les courants triphasés. Les forces électromotrices dans les deux paires de bobines étant décallées de 120° l'une par rapport à l'autre, tandis que dans le montage en série les courants ont forcément même phase, la machine fournit une puissance (en courant monophasé) égale à

$$P_m = 2 \text{ EI} \cos 30^\circ = \sqrt{3} \text{ EI},$$

E étant la force électromotrice par paire de bobines. D'autre part, dans les mêmes conditions d'induction magnétique, la machine fournit en courant triphasé,

$$P_t = 3 \text{ EI}.$$

On a donc entre ces deux puissances le rapport

$$\frac{P_m}{P_t} = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0{,}578.$$

Si l'on augmente maintenant l'intensité de façon qu'il y ait la même perte calorifique pour le courant monophasé dans les deux paires de bobines et pour le courant triphasé dans les trois paires, le rapport devient :

$$\frac{P_m}{P_t} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}707.$$

C'est ce qu'on peut considérer comme le meilleur rapport des puissances pour le courant alternatif. Mais dans ces conditions la machine à courant alternatif travaille déjà avec une réaction d'induit beaucoup plus grande que la machine à courants polyphasés. La machine biphasée travaille dans le rapport

$\frac{94,3}{100}$ ou de 5,7 p. 100 moins avantageusement que la machine triphasée. Nous ne prêterons pourtant pas grande importance à des différences aussi faibles, d'autant plus que ces nombres ne sont applicables qu'aux courants sinusoïdaux.

Quant aux machines d'autres types, comme ceux à projections polaires portant l'enroulement, elles ne se distinguent des précédentes que par cette particularité qu'entre les bobines, le fer de l'armature est enlevé. On n'atteint pas par cette disposition d'avantage spécial au point de vue magnétique. La réaction d'armature, en particulier, n'est pas modifiée. Les machines polyphasées sont donc également supérieures aux machines de ce genre.

Comme appareils commutateurs, les courants polyphasés sont un peu plus dispendieux, puisqu'ils exigent, par exemple, des commutateurs tripolaires au lieu de bipolaires. Mais cette augmentation de dépense est bien peu importante.

Considérons maintenant le réseau de distribution. Nous devons d'abord établir une distinction entre le réseau à basse tension, déterminé principalement par le voltage des lampes, et le réseau à haute tension, déterminé en grande partie par la limite de l'isolement. Par un calcul simple, on trouve que les poids des conducteurs, à puissance, perte et voltage égaux, sont entre eux comme :

I		II		III	
Courant alternatif		Courant biphasé		Courant triphasé	
2 fils	3 fils	4 fils	3 fils	3 fils	4 fils
100	31,25	100	72,8	75	29,2

Avec les courants biphasés on ne peut guère employer un système plus compliqué qu'un système à trois fils doubles. Avec le courant alternatif simple on est donc déjà obligé d'avoir recours au système à trois fils pour faire équilibre aux courants polyphasés. Si pour ces derniers on emploie le système à quatre fils (peut-être incommode), ce système est supérieur à la plupart des autres. Ces nombres ne s'appliquent toutefois qu'au réseau à basse tension, où l'isolement n'entre pas en ligne de compte.

Pour les hautes tensions, il faut tenir compte de la tension pouvant s'établir entre deux conducteurs. Dans le système biphasé à trois fils il se produit, comme l'a fait remarquer M. Kapp, entre les deux conducteurs non combinés, une tension $\sqrt{2}$ fois plus élevée que la tension normale. Dans ce système, une tension de régime de 1000 volts agit autant sur l'isolement des machines, câbles et transformateurs, qu'une tension normale de 1400 volts dans les systèmes monophasé et triphasé. Si l'on réduit donc pour ce système la tension à une valeur équivalente, les poids de conducteurs sont entre eux dans les rapports suivants, à puissance et perte égales.

Courant alternatif	Courant triphasé	Courant biphasé	
2 fils	3 fils	4 fils	3 fils
100	75	100	145,5

Le courant triphasé conserve donc sa supériorité sur le courant monophasé, tandis que le courant biphasé à trois fils exige presque deux fois autant de cuivre que le courant triphasé.

En ce qui concerne l'installation de la ligne, elle est évidemment plus coûteuse avec les courants polyphasés. Pour les lignes aériennes, par exemple, il faut un plus grand nombre d'isolateurs, si toutefois cet inconvénient n'est pas compensé par la division des conducteurs en plusieurs fils parallèles pour les courants intenses. De même les appareils accessoires, commutateurs, coupe-circuit, etc., seront plus nombreux, mais d'autre part de dimensions plus petites, les courants étant moins intenses à puissance transmise égale. Enfin, les transformateurs sont, pour les courants triphasés, d'un modèle particulier formé de trois colonnes et de deux culasses. Dans les petites puissances, ce transformateur est plus coûteux que le type ordinaire pour courant monophasé; pour les grandes puissances, les prix sont à peu près les mêmes. Ce sont les courants biphasés qui présentent, à ce point de vue, le moins d'avantages puisqu'ils exigent en chaque

centre de distribution deux transformateurs évidemment plus coûteux qu'un transformateur de puissance double. Tout bien considéré, l'exécution de nombreux projets a démontré qu'avec un réseau à basse tension le courant triphasé à trois fils est plus économique que le courant monophasé à deux fils, mais un peu moins que le courant simple à trois fils.

(*A suivre.*) A. H.

Note sur la téléphonie aux États-Unis par G. de la Touanne [1].

SYSTÈME LAW (*suite*).

Au poste central, les avis du demandeur sont reçus par l'opérateur à l'aide du téléphone T_0 (fig. 23) embroché dans le circuit d'appel. D'autre part, la ligne d'abonné L_1 L_2, aboutit en dérivation à une série de jacks généraux J_1, J_2 ..... J_n de forme rectangulaire et constitués chacun par deux lames de laiton ou de maillechort a_1, c_1 ..... a_n, c_n encastrées dans des plaquettes d'ébonite (fig. 24 et 25) ; celles-ci comprenant 10 jacks semblables, et, placées verticalement, sont assemblées également par 10, présentant ainsi des carrés de 100 jacks généraux : un certain nombre de ces carrés sont disposés côte à côte, de manière à constituer une longue table sur les deux grands côtés de laquelle se rangent les téléphonistes. Parallèlement à ces côtés, l'ensemble des carrés est divisé (*fig.* 26 et 27) en deux bandes GG' KK' NN'OO' entre lesquelles apparaissent

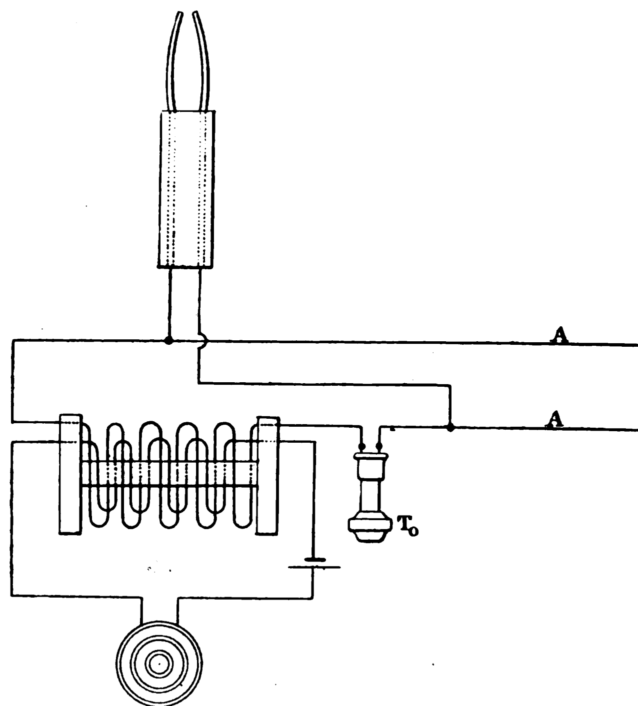


Fig. 23. — Système Law. Poste central.

les fiches équivalentes à des jacks individuels, le système étant monocorde : chacune des fiches termine d'ailleurs un cordon qui renferme deux conducteurs soudés par l'autre bout à des masses métalliques munies de ressorts, et le cordon ainsi lesté pend à l'intérieur d'un tube rectangulaire formé simplement à l'aide de deux lames de laiton étirées en U ; les fils de ligne aboutissent à deux lames comme à celles

[1] Voir l'*Eclairage électrique* du 2 mars 1895, page 410.

des jacks généraux ; les ressorts frottant contre les lames en U et la fiche étant constituée par deux ressorts correspondant aux deux conducteurs, la communication reste constante entre la fiche et la ligne, quelle que soit la longueur dont on tire le cordon, pourvu que le bas en reste dans le tube rectangulaire. Dès lors, pour réunir le demandeur et le demandé, l'opérateur

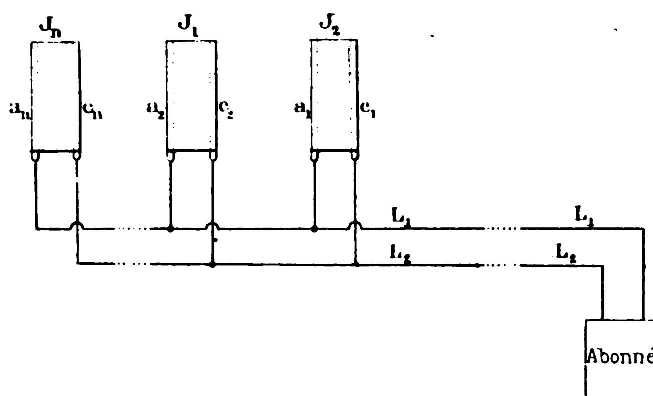


Fig. 24. — Système Law. Schéma des circuits.

auquel le premier a donné son numéro n'aura qu'à saisir la fiche du demandeur et à venir la piquer, la pointe en bas, dans le jack général de l'appelé. Il est bien entendu que les abonnés dont les circuits d'appel arrivent au poste d'un opérateur déterminé, sont ceux dont il a les fiches en face de lui.

Mais, comme dans le système ordinaire, il est nécessaire que l'opérateur, avant d'établir une communication, s'assure que la ligne de l'abonné demandé est libre, et, s'il n'en est pas ainsi, en prévienne le demandeur. A cet effet, l'opérateur est muni d'une fiche d'essai $f\varphi$ (fig. 28); entre les conducteurs du cordon

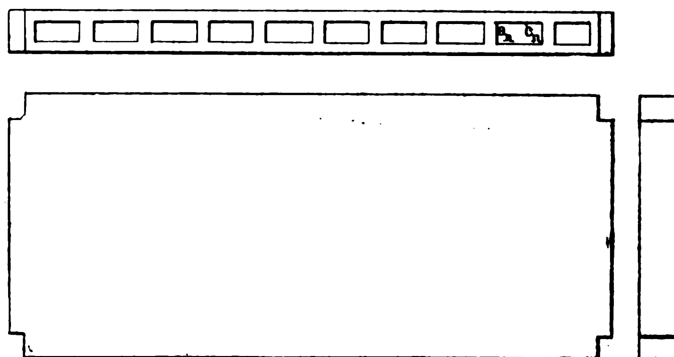


Fig. 25. — Détail des jacks généraux (vraie grandeur).

sont insérés une pile d'essai p et un parleur R, de sorte que, si l'on réunit f et φ à travers l'armature d'une sonnerie montée en trembleuse. le parleur, en même temps que la sonnerie, fonctionnera lui-même en trembleur sous l'influence de la pile p, tandis que si f et φ sont réunis par un circuit continu, l'armature du parleur ne subira qu'une seule attraction et ne fera entendre qu'un seul choc. Dès lors il est facile de saisir la série des manœuvres. L'abonné N appelle. L'opérateur, avec la fiche d'essai, tâte le jack général du demandé N'; si

le demandé est libre (communications de la figure 20), la sonnerie de son poste est, par le butoir F', en communication avec son fil L'_2 à travers l'armature ; reliée d'autre part en permanence à L'_1, la sonnerie va fonctionner en trembleuse, 'et la vibration correspondante du parleur R avertira l'opérateur que la ligne est libre. Il porte immédiatement la fiche d'essai une fois sur le jack général de l'appelant et comme celui-ci, nous l'avons dit, a maintenu le manche H abaissé (fig. 22) pendant le temps très court nécessaire à l'essai, le courant de la pile *p* suit maintenant le chemim L_2DC3SL_1, provoquant une seule attraction de l'armature de la sonnerie S, un seul coup sur le timbre. L'appelant sait alors que la communication va lui être donnée, abandonne H pendant que l'opérateur amène sa fiche individuelle sur le

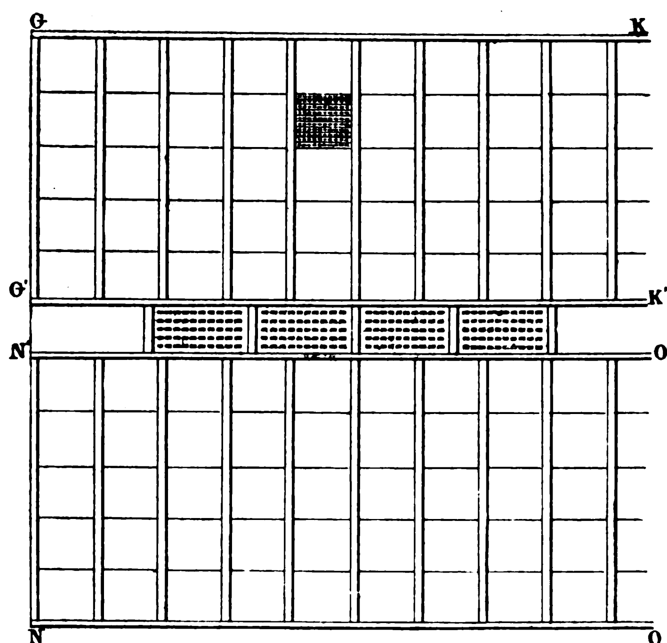


Fig. 20. — Système Law. Ensemble d'une table.

jack général du correspondant qu'il a demandé, et se trouve ainsi en mesure de communiquer immédiatement avec ce dernier.

Si, au contraire, la ligne du demandé N' est occupée, l'opérateur, en faisant l'essai, n'entend qu'un coup frappé au parleur, puisque le circuit du poste est fermé soit à travers la sonnerie S' directement, si le demandé est lui-même en train d'appeler (communications de la fig. 22); soit à travers l'enroulement secondaire I' de la bobine d'induction et le téléphone T', s'il est en train de causer (communications de la fig. 21); dans ce dernier cas, N' entendra un *toc* l'avertissant qu'un autre abonné l'a demandé. L'opérateur, lorsqu'il trouve ainsi la ligne occupée, le fait connaître à l'appelant en donnant successivement, mais rapidement, sur le jack général de celui-ci, quatre contrats avec la fiche d'essai ; l'appelant entend quatre coups de timbre et non plus un comme tout à l'heure, et sait que la ligne du correspondant demandé n'est pas libre.

A la fin de la conversation, les abonnés reviennent sur le circuit d'appel et avisent l'opérateur. — Bien que celui-ci ait à sa disposition, en cas de nécessité, un poste téléphonique, on voit que, régulièrement, toutes les manœuvres doivent être faites sans la moindre

conversation entre les abonnés et l'opérateur.

Quoique le système Law ait soulevé des objections, les espérances qu'il avait éveillées et surtout les dernières modifications le rendant applicable aux circuits bifilaires ne permettaient pas de le passer sous silence.

TENUE DES BUREAUX

Il y a lieu de noter la tenue et l'entretien parfaits de certains bureaux, par exemple à New-York, où la propreté est telle, soit à l'extérieur du commutateur, soit à l'intérieur, que l'on croit montés depuis quelques semaines à

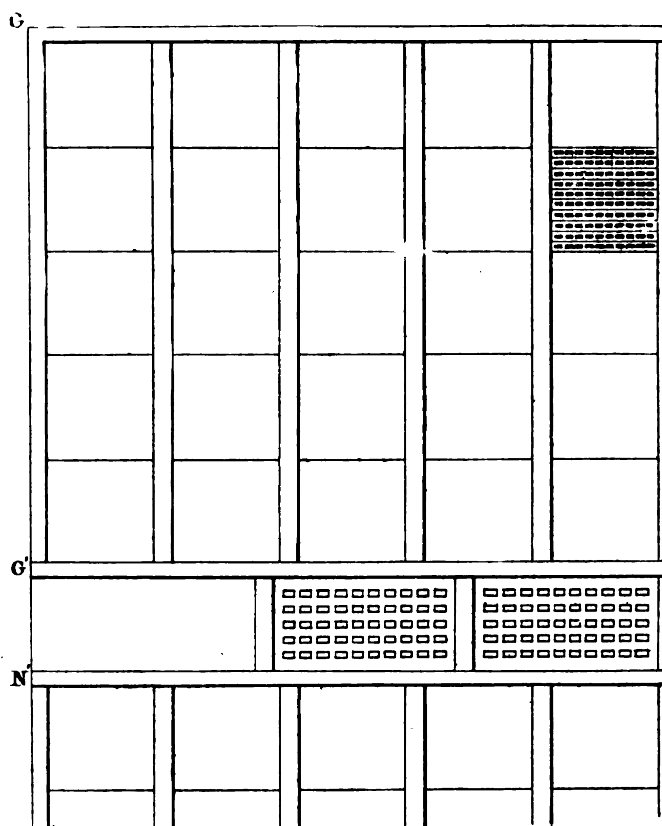


Fig. 27. — Système Law. Ensemble d'une table.

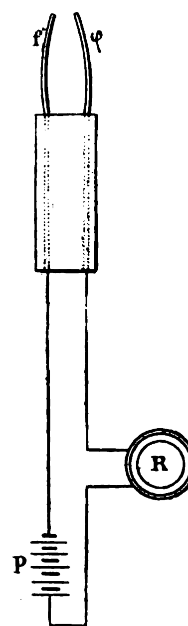


Fig. 28. — Fiche d'essai.

peine des bureaux qui sont en service depuis plusieurs années. La poussière est évitée dans la mesure du possible; les vestiaires sont soigneusement isolés des salles de commutateurs; le balayage se fait, conformément aux précautions les plus élémentaires, avec un torchon mouillé ou de la sciure humide (l'importance du nettoyage ne peut être contestée, surtout avec les multiples à contacts en série ; dans un même bureau, on a diminué de plus de 50 p. 100 le nombre des dérangements dans les contacts en apportant plus d'attention au nettoyage) : on se trouve bien également de couvrir avec du gros papier, déposé sur la dernière couche, les câbles de commutateurs, ce qui empêche la poussière de se déposer aussi facilement sur eux et dans les jacks. Nous ajouterons qu'on cherche à rendre les locaux aussi confortables que possible pour le personnel : il existe une salle de repos où les téléphonistes peuvent se coucher en cas d'indisposition, une chambre de réunion où l'on trouve des périodiques, une salle à manger avec fourneaux, grands filtres contenant du café ou du thé chauds, de l'eau

chaude pour en diminuer la force ; les bureaux sont rendus, si faire se peut, agréables d'aspect ; parfois même on les décore et les égaie à l'aide de plantes vertes.

(*A suivre.*)

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Modification de la méthode du galvanomètre balistique pour la détermination de la capacité électromagnétique d'un condensateur, par F. Womack (¹).

« La méthode consiste à placer le condensateur C (fig. 1) en dérivation sur l'une des bran-

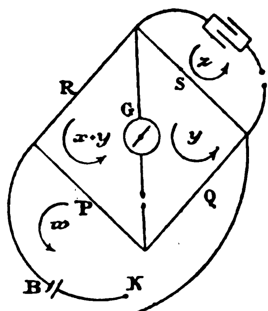


Fig. 1. — Mesure balistique des capacités.

ches S, d'un pont de Wheatstone à résistances non inductives. Le pont ayant été réglé pour un courant constant, on introduit le condensateur dans le circuit et on détermine l'impulsion galvanométrique θ produite par la fermeture de la clef K. On met ensuite le condensateur hors circuit et l'on dérègle le pont en modifiant la résistance S. On lit alors la déviation stable α due à ce déréglage. Au moyen de ces deux angles θ et α et des valeurs de la résistance S, la capacité peut être déterminée.

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 172-175, février 1895.

« Si x, y, z, w désignent les intégrales de temps des courants comptées à partir de l'instant de la fermeture, on a :

$$\left.\begin{aligned} P(x+y-w) &+ Gx + R(x+y) = 0, \\ &- Gx + Q(y-w) + S(y-z) = 0, \\ P(w-x-y) &+ Bw + Q(w-y) = \int E\,dt, \\ &z = CSy'_{\infty}. \end{aligned}\right\}$$

« Remplaçant, dans la seconde relation, z par la valeur écrite en dernier lieu, puis ordonnant les équations par rapport à x, y, w, on obtient :

$$\begin{aligned} (P+G+R)x + (P+R)y - Pw &= 0, & (1) \\ -Gx + (Q+S)y - Qw &= CS^2y'_{\infty}, & (2) \\ -Px - (P+Q)y + (P+Q+B)w &= \int E\,dt. & (3) \end{aligned}$$

« Si l'on pose

$$\Delta = \begin{vmatrix} P+G+R & P+R & -P \\ -G & Q+S & -Q \\ -P & -(P+Q) & P+Q+B \end{vmatrix},$$

la résolution des équations précédentes donne

$$x = \frac{CS^2y'_{\infty}}{\Delta}(PB + PR + QR + BR)$$

« Pour obtenir le courant constant y'_{∞} qui, finalement, circule dans S, nous avons des équations ne différant de (1), (2), (3) qu'en ce que le second membre de la seconde est nul et que, dans toutes, x, y, w est remplacé par x'_{∞}, y'_{∞}, w'_{∞}. Par suite :

$$y'_{\infty} = \frac{\begin{vmatrix} P+G+R & 0 & -P \\ -G & 0 & -Q \\ -P & E & P+Q+B \end{vmatrix}}{\Delta},$$

ou

$$y'_{\infty} = \frac{E}{\Delta}(PQ + GQ + RQ + PG).$$

« Par conséquent, la quantité d'électricité traversant le galvanomètre est

$$x = \frac{CS^2E}{\Delta^2}(PB + PR + QR + BR)(PQ + GQ + RQ + PG).$$

« Quand le pont est déréglé, S devenant $S + dS$, les équations cycliques des courants sont

$$\left.\begin{array}{llll}(P+G+R)x'_x & +(P+R)y'_x & -Pw'_x & =0 \\ -Gx'_x & +(Q+S+dS)y'_x & -Qw'_x & =0 \\ -Px'_x & -(P+Q)y'_x & +(P+Q+B)w'_x & =E\end{array}\right\};$$

elles donnent

$$x'_x = \frac{\begin{vmatrix} 0 & P+R & -P \\ 0 & Q+S+dS & -Q \\ E & -(P+Q) & P+Q+B \end{vmatrix}}{\Delta_1},$$

Δ_1, étant un déterminant ne différant de Δ que par le changement de S en $S + dS$. Si l'on confond ces deux déterminants, on a approximativement :

$$x'_x = \frac{EP}{\Delta}dS$$

« On obtient donc :

$$\frac{x}{x'_x} = \frac{CS^2}{\Delta}\frac{(PB+PR+QR+BR)(PQ+GQ+RQ+PG)}{P.dS},$$

ou, après simplifications,

$$\frac{x}{x'_x} = \frac{CS^2}{dS}.$$

« Mais

$$\frac{x}{x'_x} = \frac{T}{2\pi}.\frac{2\sin\frac{\theta}{2}}{\tan g\ \alpha} \times \text{correction de l'amortissement};$$

par suite :

$$C = \frac{T}{2\pi}.\frac{2\sin\frac{\theta}{2}}{\tan g\ \alpha}.\frac{dS}{S^2} \times \text{correction de l'amortissement.}$$

« En pratique, pour éviter l'erreur provenant de la variation qu'éprouve Δ quand on fait varier S de dS, on peut prendre deux lectures de α pour deux valeurs égales et de signes contraires de dS. L'erreur, qui autrement pourrait atteindre 1 p. 100, est ainsi réduite à 1 p. 10^4.

« Pour éviter l'erreur résultant d'une variation de la force électromotrice de la pile, qui reste un temps appréciable dans le circuit, il est besoin de placer en K une clef à renversement et d'observer les impulsions galvanométriques pour des sens différents du courant dans S ; immédiatement après on observe la déviation stable due à la variation de S.

« La méthode présente nécessairement les mêmes inconvénients que celle de Fleeming Jenkin et, par suite, ne donné pas la capacité instantanée du condensateur. Mais des mesures relatives à un même condensateur, faites avec des galvanomètres différents ou avec divers moments d'inertie de l'aiguille du galvanomètre, ont fourni des résultats très sensiblement égaux. La capacité ne paraissait dépendre que très peu de la période de charge du condensateur ; sans doute, cette influence serait plus marquée pour des capacités plus grandes.

« Les conditions nécessaires pour obtenir le maximum d'impulsion de l'aiguille ne sont pas les mêmes que celles qui sont requises pour avoir le maximum de sensibilité avec un courant constant. Toutefois, il n'y a pratiquement aucune difficulté à obtenir une sensibilité suffisante du galvanomètre pour déceler une variation de 1/200 de la résistance S. Il est, en outre, très commode d'avoir un galvanomètre dont la période d'oscillation puisse être changée à volonté, afin de pouvoir obtenir une impulsion à peu près égale à la déviation stable que donne une variation déterminée de S.

« Un des avantages de cette méthode est de ne pas faire intervenir, comme la méthode balistique ordinaire, la résistance de la pile ou du galvanomètre, car la résistance galvanométrique, à moins d'être mesurée au moment même des expériences, ne peut être connue qu'à 1 ou 2 p. 100 près.

« En outre, les déterminations de θ et de α peuvent être faites très rapidement sans avoir besoin de changer les contacts ou les connexions et en laissant le courant de la pile circuler d'une manière continue ; la détermination de la période du galvanomètre et de l'amortissement peut être faite plus tard.

« Cette méthode peut servir à la détermination simultanée de la résistance, de la capacité et de l'inductance d'un câble sous-marin, d'une ligne téléphonique ou d'une ligne télégraphique. »

J. B.

La double réfraction des rayons électriques par K. Mack (1).

Jusqu'ici aucun expérimentateur n'était parvenu à montrer que les rayons électriques peuvent, comme les rayons lumineux, subir la double réfraction par leur passage à travers certaines substances. L'auteur y est arrivé en utilisant la structure particulière du bois qui, ainsi que l'a montré Hertz, est facilement traversé par les ondes électriques.

Ces ondes sont produites, suivant le procédé indiqué par Tœpler (2), au moyen d'une machine de Voss dont les plateaux ont un diamètre de 46 cm. et qui est capable de donner des étincelles de 18 cm. de longueur. Les armatures externes des condensateurs de cette machine sont respectivement reliées à deux tiges cylindriques de laiton de 70 cm. de longueur et de 0,5 cm. de diamètre, disposées horizontalement et parallèlement l'une à l'autre à une distance de 12 cm. environ. A ces tiges sont fixées les extrémités de deux fils de cuivre bien isolés, de 1 cm. de diamètre, dont les autres extrémités sont soudées aux deux moitiés du primaire. Chacune de ces moitiés est formée par un cylindre de 3 cm. de diamètre terminé par une sphère de 4 cm. de diamètre; sa longueur totale est de 10,5 cm. Le primaire est disposé suivant la ligne focale d'un miroir parabolique de 1 mètre de hauteur, 1 mètre d'ouverture et 10 cm. de distance focale, que traversent les fils reliant les moitiés du primaire au deux tiges horizontales dont il a été question. Quand on fait tourner la machine et qu'on en écarte les pôles de 12 cm. environ, des étincelles éclatent entre ces pôles et entre les sphères du primaire, ces dernières ayant le caractère oscillatoire.

La longueur des étincelles primaires était généralement comprise entre 1 et 2 mm., mais on pouvait encore obtenir de très bons résultats avec des longueurs d'étincelles de 3 à 4 mm. L'auteur a constaté que les étincelles primaires obtenues avec cette disposition n'altèrent que très lentement le poli de la surface des sphères entre lesquelles elles jaillissent; aussi n'a-t-il pas employé le dispositif proposé par MM. Sarasin et De La Rive pour obvier à cet inconvénient. Des mesures de longueur d'onde lui montrèrent que la longueur d'onde de ses oscillations est d'environ 50 à 60 cm.

Les ondes émises par le miroir parabolique sont reçues sur un miroir identique suivant la ligne focale duquel est disposé le conducteur secondaire. Celui-ci est formé de deux tiges cylindriques de 20 cm. de longueur et de 0,5 cm. de diamètre; ces tiges sont respectivement reliées par des fils fins à la pointe et à la sphère d'un micromètre à étincelles placé derrière le miroir ; cette pointe et cette sphère devaient être assez souvent frottées avec du papier d'émeri.

Quand les deux miroirs sont tournés l'un vers l'autre, leurs lignes focales étant parallèles, on observe des étincelles secondaires. Si l'on fait tourner le miroir récepteur de 90° autour d'un axe parallèle à la direction des rayons électriques qui tombent sur lui, les étincelles disparaissent. Cette expérience, faite pour la première fois par Hertz, est analogue à celle que l'on réalise sur les rayons lumineux avec deux nicols; si les sections principales des nicols sont disposées parallèlement la lumière traverse les deux nicols; si, au contraire ces sections sont perpendiculaires, les rayons lumineux émergeant du premier sont arrêtés par le second.

Si, lorsque les lignes focales des deux miroirs sont perpendiculaires, on place entre eux, perpendiculairement à la direction de propagation des rayons électriques, un réseau de fils métalliques dont les fils forment un angle de 45 degrés avec les directions des lignes focales, les étincelles secondaires reparaissent. Cette expérience, due également à Hertz, est analogue à celle qui consiste à faire réapparaître la lumière dans le champ de deux nicols croisés quand on place entre ces nicols une lame de tourmaline dont les axes bissectent

(1) *Wiedemann's Annalen*, t. LIV, p. 342-351, 1895.
(2) Tœpler. *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 306, 464 et 642, 1892.

les angles formés par les sections principales des nicols.

Ce dernier phénomène optique étant dû aux propriétés biréfringentes de la tourmaline, l'auteur pensa que le phénomène électrique correspondant pourrait lui servir à rechercher si certaines substances produisent une double réfraction du même genre des rayons électriques qui la traversent.

Les premières expériences, faites avec des planches de sapin de 0,5 à 1 m² de surface et de 2 à 3 cm. d'épaisseur, ne donnèrent que des résultats négatifs. L'auteur prit alors un bloc de sapin de 20 cm. d'épaisseur et de section octogonale inscrite dans un cercle d'environ 35 cm. de rayon ; ce bloc était formé par l'assemblage de trois planches ayant leurs fibres aussi parallèles que possible. Il s'agissait d'abord de savoir si les oscillations étaient capables de traverser une telle épaisseur de bois. Dans ce but, le bloc était placé entre les deux miroirs disposés tous deux verticalement ou tous deux horizontalement ; des étincelles jaillissaient entre la pointe et la sphère du micromètre. Pour être certain qu'elles n'étaient pas dues à des ondes passant en dehors du bloc de bois, on plaçait en avant de ce bloc un grand écran métallique, percé d'un trou en son milieu, afin d'arrêter ces ondes.

Dans ces expériences l'influence de la structure fibreuse du bois était déjà manifeste : quand les fibres du bois étaient disposées parallèlement aux axes des deux miroirs, les étincelles secondaires étaient plus faibles que lorsque ces fibres étaient disposées perpendiculairement aux axes. Pour mieux la mettre en évidence, les deux miroirs étaient placés de manière à ce que leurs lignes focales fussent perpendiculaires l'une à l'autre et le bloc de bois était disposé de façon à ce que la direction de ses fibres fût à 45 degrés de celles des lignes focales. On observait alors des étincelles très vives au micromètre ; ces étincelles disparaissaient quand on faisait tourner le bloc de bois de 45 degrés de manière à rendre les fibres parallèles à l'une des lignes focales ou quand on enlevait complètement ce bloc.

Pour réussir ces expériences, quelques précautions sont nécessaires. L'auteur recommande d'opérer de la façon suivante : on commence par mettre les deux miroirs à angle droit et l'on introduit entre eux un réseau de fils métalliques ; on règle alors le micromètre jusqu'à ce qu'un flux d'étincelles se produise, puis on remplace le réseau par le bloc de bois dont les fibres sont inclinées de 45 degrés sur la direction de l'une des lignes focales ; il suffit de rapprocher légèrement la pointe du micromètre de la sphère pour voir réapparaître le flux d'étincelles.

Quelques expériences furent faites dans le but de chercher quelle était l'épaisseur la plus convenable. Avec une plaque de 5 cm. d'épaisseur les étincelles ne se produisaient pas ; avec une plaque de 10 cm. le flux d'étincelles était faible, mais néanmoins ininterrompu ; pour une épaisseur de 15 cm., obtenue en superposant les plaques précédentes, les étincelles étaient très brillantes ; elles l'étaient encore plus avec le bloc de 20 cm. et leur intensité ne semblait pas subir de diminution sensible quand, par la superposition des plaques, on portait l'épaisseur à 25, 30, 35 et 40 cm. Si l'on disposait les plaques de manière que dans la moitié de l'épaisseur du bloc résultant de leur superposition les fibres aient une certaine direction et que dans l'autre moitié elles aient une direction perpendiculaire, les étincelles cessaient de se produire.

Comme le fait observer l'auteur, les phénomènes électriques précédents ne sont pas absolument analogues aux phénomènes optiques que l'on obtient quand on interpose une lame d'un cristal biréfringent quelconque entre deux nicols à l'extinction. Dans ce dernier cas il n'y a illumination du champ que si la différence de marche contractée par le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire par leur passage à travers la lame est d'une demi-longueur d'onde ou d'un multiple exact d'une demi-longueur d'onde. Or, dans les expériences électriques qui viennent d'être citées, il ne peut se produire une différence de marche d'une demi-

longueur d'onde, puisque l'épaisseur du bois est de beaucoup inférieure à une demi-ondulation.

Mais l'analogie de ces phénomènes avec les phénomènes optiques que l'on obtient par l'interposition d'une lame de tourmaline entre deux nicols croisés est très étroite. Comme ces phénomènes optiques sont dus à ce que la lame de tourmaline ne laisse passer qu'un seul des rayons lumineux provenant du dédoublement du faisceau incident, tandis qu'elle absorbe l'autre, l'auteur explique de la même manière les phénomènes électriques observés avec le bois.

Pour justifier cette explication, l'auteur exécuta plusieurs expériences. Dans l'une d'elles les miroirs étaient placés à environ 4 m. l'un de l'autre, leurs lignes focales étant verticales, et le bloc de 20 cm. d'épaisseur était disposé entre eux avec ses fibres également verticales. Un écran de 1 m^2 de surface et percé d'un trou carré, 25 cm. de côté, était placé en avant du bloc, de manière à réduire beaucoup la section du faisceau de rayons électriques traversant le bloc.

Dans ces conditions, le flux d'étincelles secondaires était très brillant. Si l'on mettait à côté du bloc de sapin la plaque de 10 cm. d'épaisseur en ayant soin que la direction des fibres soit verticale, c'est-à-dire parallèle à la direction des fibres du bloc, l'intensité de ces étincelles devenait très faible. En ajoutant une plaque de 5 cm. d'épaisseur, les étincelles disparaissaient complètement. Si on faisait tourner l'ensemble des trois plaques de 90 degrés de manière à rendre les fibres perpendiculaires à la direction des lignes focales des miroirs, les étincelles secondaires reparaissaient avec une intensité considérable. Ainsi donc, une épaisseur de bois de 35 cm. d'épaisseur absorbe complètement les ondes électriques lorsque la direction des fibres est parallèle à la direction de vibration, tandis qu'elle les laisse passer quand ces directions sont perpendiculaires.

Des expériences du même genre furent faites avec des planches de chêne et de hêtre. Comme avec celles de sapin il fallait que l'épaisseur traversée par les rayons fût d'au moins 10 cm pour qu'on puisse faire réapparaître les étincelles secondaires lorsque les miroirs étaient croisés. Pour une même épaisseur, l'intensité de ces étincelles paraissait plus grande avec le sapin qu'avec les deux autres espèces de bois; avec le hêtre elle était presque la même qu'avec le sapin ; avec le chêne elle était légèrement plus faible.

Comme on devait s'y attendre, en se laissant guider par l'analogie optique, des blocs de bois taillés perpendiculairement à la direction des fibres ne présentent pas de double réfraction pour des rayons électriques parallèles à cette direction. L'auteur a pu le constater en interposant sur le trajet des rayons de nombreuses coupes de bois prises dans la collection forestière ; dans tous les cas, il n'y avait pas réapparition des étincelles secondaires quand, les deux miroirs étant croisés, on introduisait entre eux une de ces coupes.

J. B.

Sur la distribution du magnétisme induit. — 1re partie : Magnétisme de cylindres creux et pleins, par M. Ascoli (1)

A la suite des expériences de M. Grotrian (2) sur le magnétisme de cylindres de fer creux et pleins, l'auteur publia l'an dernier une série de notes (3) sur la distribution du magnétisme induit. En même temps M. Du Bois (4) s'occupait de la même question, M. Schulz (5) examinait son influence sur la théorie des dynamos et enfin M. Grotrian (6) publiait quelques nouvelles expériences. Ce sont ses notes personnelles et ces divers travaux que l'auteur se propose de condenser et de coordonner dans son Mémoire.

(1) *Il nuovo Cimento* [4], t. I, p. 5-18 ; janvier 1895.
(2) Grotrian. *Wied. Ann.* t. L, p. 705; 1893— *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 567
(3) Ascoli. *Rend. dell. R. Acc. dei Lincei*, t. III, 1er sem., p. 176, 279, 314, 377; 2e sem. p. 157, 190.
(4) Du Bois. *Wied Ann.*, t. LI, p. 529 ; 1894.
(5) Schulz. *Elektro. Zeitschrift*, t. XV. p. 79; 1894.
(6) Grotrian. *Wied. Ann.*, t. LII p. 735; 1894. — *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 612.

D'après les observations de M. Grotrian et les observations antérieures de Feilizsch et de Faraday, le moment magnétique d'un cylindre de fer creux aimanté n'est pas beaucoup moindre que celui du même cylindre dont la cavité est remplie de fer. Il semble donc que l'aimantation se localise dans les couches superficielles d'un cylindre de fer soumis à l'action d'un champ magnétisant. C'est l'opinion qu'adopte M. Grotrian ; l'auteur ne l'accepte pas.

Tout d'abord, il fait remarquer que les dernières expériences de M. Grotrian, qui consistent à montrer que la limaille de fer ne s'attache pas à la surface intérieure d'un tube de fer placé dans une bobine magnétisante, s'expliquent très simplement par la protection qu'exerce un cylindre de fer sur tout point situé à son intérieur et ne prouvent rien en faveur de l'hypothèse d'une aimantation superficielle ; c'est d'ailleurs ce que faisait judicieusement observer notre collaborateur M. C. Raveau en analysant le travail de M. Grotrian.

M. Ascoli indique ensuite son opinion. Suivant lui la distribution superficielle n'est pas réelle ; elle est seulement apparente et s'explique par la réaction du magnétisme libre induit sur le champ inducteur, réaction qui croît en même temps que la section métallique du corps considéré et qui peut réduire la force magnétisante résultante de manière à compenser l'augmentation de cette force qui est due à l'augmentation de la masse métallique. Le moment magnétique peut ainsi rester sensiblement constant malgré l'accroissement de la masse aimantée sans que cependant rien ne s'oppose à ce que le moment magnétique reste uniformément distribué dans toute la section.

Pour bien faire voir la possibilité d'une apparence de distribution non uniforme malgré l'existence d'une distribution réelle uniforme, l'auteur considère un corps magnétique soumis à l'action d'un champ primitivement uniforme et ayant la forme d'un ellipsoïde de révolution autour d'un axe parallèle au champ.

On sait qu'un tel corps s'aimante uniformément et que la force magnétisante est donnée par le produit de l'intensité magnétique I par un facteur N lié à l'excentricité e de l'ellipse méridienne par la relation

$$N = \left(\frac{1}{e^2} - 1\right)\left(\frac{1}{2e} \log \frac{1 \times e}{1 - e} - 1\right),$$

où

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2},$$

l étant le grand axe et d le petit axe de l'ellipse. Par conséquent si H' est l'intensité du champ primitif, celle du champ résultant est

$$H = H' - NI \qquad (1)$$

Prenons une série d'ellipsoïdes de la même substance, ayant le même grand axe, mais des petits axes différents, et supposons-les placés dans un même champ magnétique, par exemple dans un champ d'intensité $H' = 100$ unités C.G.S. L'intensité magnétique ne sera pas la même pour ces divers ellipsoïdes puisque N et, par suite, H diffèrent de l'un à l'autre. Soit $I = f(H)$ l'équation de la courbe magnétique du métal dont sont formés les ellipsoïdes. Cette équation, jointe à l'équation (1), donne pour chaque ellipsoïde, c'est-à-dire pour chaque valeur de N, les valeurs correspondantes de I et de H. Ces solutions s'obtiennent facilement par la méthode graphique en cherchant les points de rencontre de la courbe $I = f(H)$ avec la droite $NI = H' - H$. Quand on a I, on en déduit le moment magnétique par la relation.

$$M = \frac{1}{6} \pi d^2 l I.$$

Dans le tableau I sont indiquées les diverses valeurs que l'on obtient pour les moments magnétiques M de divers ellipsoïdes de révolution placés dans un champ magnétique uniforme, d'intensité $H' = 100$ unités C.G.S, en admettant que la relation $I = f(H)$ est donnée

par la courbe de la page 53 de l'ouvrage de M. Ewing, l'*Induction magnétique*.

Si l'on porte en abscisses les aires S des sections des ellipsoïdes par un plan central perpendiculaire à l'axe de révolution et en ordonnées les moments magnétiques M correspondants, on constate que le moment magnétique est à peu près proportionnel à la section tant que la longueur du grand axe est supérieure à 20 fois celle du petit axe, mais qu'au delà de cette limite, l'augmentation du moment magnétique avec la section devient lente. A première vue ce résultat pourrait faire croire à une distribution non uniforme du magnétisme dans la section, bien qu'il ait été obtenu en considérant cette distribution comme uniforme.

TABLEAU I.

MOMENTS MAGNÉTIQUES D'ELLIPSOIDES EN FER DE DIVERSES EXCENTRICITÉS.

$\frac{l}{d}$	N	H	I	S	M
500	0,0000	100	1290	0,0003	2,70
200	0,0016	98,0	1290	0,0019	16,89
100	0,0054	95,5	1290	0,0078	67,54
50	0,0181	76,58	1285	0,0314	269,1
20	0,0842	6,88	1102	0,1964	1442
10	0,2611	2,98	371	0,7854	1943
6	0,5432	2,56	179	2,1871	2603
4	0,9467	2,20	100	4,9088	3272
3	1,3670	2,02	70	8,8373	4072

La faible différence que l'on observe expérimentalement entre les moments magnétiques de divers cylindres de sections suffisamment grandes soumis à un même champ magnétique pourrait donc très bien être due, comme dans le cas des ellipsoïdes, à une réaction du magnétisme induit sur le champ inducteur. L'auteur se propose de donner une démonstration complète de l'exactitude de cette explication dans la seconde partie de son Mémoire. Dans cette première partie il se borne à montrer que la variation qu'éprouve la force magnétique H quand on prend des cylindres pleins dont on fait varier le rapport de la longueur au diamètre est absolument analogue à celle qu'éprouve la force magnétique quand on prend des ellipsoïdes de révolution dont on fait varier le rapport du grand axe au petit axe.

Cette dernière variation est donnée, pour le cas particulier ou $H' = 100$, par la comparaison des nombres de la première et de la troisième colonne du tableau I. Pour les cylindres elle ne peut être déterminée par le calcul, mais elle peut être déterminée expérimentalement de la manière suivante. On commence par déterminer, au moyen de la méthode balistique, la courbe d'aimantation d'un cylindre excessivement long (ayant, par exemple, une longueur égale à 400 ou 500 fois le diamètre.) Dans ces conditions la force magnétique vraie se confond avec la force magnétique primitive. Ensuite on détermine la même courbe pour un cylindre quelconque. Quand on a ces deux courbes, on s'en sert pour chercher les valeurs de la force magnétique correspondant, dans les deux cas, à une même valeur de l'intensité d'aimantation. La valeur trouvée au moyen de la première courbe donne, d'après la remarque précédente, la force magnétique primitive H'; celle qu'on trouve au moyen de la seconde représente la force magnétique vraie H. On pourra donc, au moyen des courbes d'aimantation d'un grand nombre de cylindres, déterminer ainsi les diverses valeurs de la force magnétique vraie H pour une même valeur de la force magnétique H' et pour diverses valeurs du rapport λ de la longueur des cylindres à leur diamètre.

L'auteur a fait des déterminations de ce genre pour des valeurs de λ variant de 103 à 3. Le tableau II donne la force magnétique vraie vers le centre des cylindres pour chacune des valeurs de λ inscrite en tête de chaque colonne.

Les nombres de la première colonne ne représentent pas rigoureusement la force magnétique primitive, le rapport $\lambda = 103$ n'étant pas suffisamment grand. Toutefois, d'après M. Du Bois, la différence n'est guère que de 4 p. 100 et l'on peut à la rigueur la négliger. Par conséquent si, portant les λ en abscisses, on porte

en ordonnées les nombres d'une même ligne horizontale, on obtient la courbe de variation de H avec λ pour une valeur de H' sensiblement donnée par le nombre de la première colonne correspondant à la ligne considérée. Les cinq courbes ainsi obtenues ont la même forme que la courbe obtenue en portant en abscisses les valeurs de $\frac{l}{d}$ du tableau I et en ordonnées les valeurs de H de ce même tableau.

TABLEAU II.

FORCES MAGNÉTIQUES VRAIES AU CENTRE DE CYLINDRES DE DIVERSES LONGUEURS.

$\lambda = 103$	59,5	39,0	23,7	17,0	13,2	10,8	3
0,750	0,73	0,61	0,17	0,095	0,070	0,055	0,015
0,530	0,51	0,31	0,12	0,075	0,060	0,048	0,012
0,305	0,20	0,12	0,065	0,040	0,030	0,025	0,008
0,170	0,12	0,07	0,035	0,020	0,015	0,012	0,004
0,100	0,065	0,035	0,016	0,010	—	—	—

L'auteur passe ensuite au cas des cylindres creux.

Des expériences antérieures lui avaient déjà montré que des cylindres creux se comportent d'une façon analogue à des cylindres pleins de même section métallique. Les légères différences observées pouvaient être dues à la réaction du magnétisme induit sur le champ magnétisant. Pour s'en assurer il suffisait de rechercher si ces différences diminuent en même temps que la réaction décroît, c'est-à-dire d'après ce qui précède, en même temps que la longueur des cylindres croît par rapport au diamètre. Dans ce but M. Ascoli entreprit de nouvelles expériences.

Pour obtenir facilement des cylindres creux et des cylindres pleins de même section métallique, l'auteur prend des fils de fer fins qu'il dispose parallèlement sur la surface latérale d'un cylindre de bois ayant un diamètre égal à celui de la cavité du cylindre creux que l'on veut former; des bandes de caoutchouc maintiennent les fils en place; si l'on retire le cylindre de bois, les fils de fer, pressés par les bandes de caoutchouc, se rassemblent et forment un cylindre plein ayant nécessairement la même section métallique que le cylindre creux; cette section était d'ailleurs proportionnelle au nombre de fils employés.

Les cylindres étaient aimantés au moyen d'une bobine de 30,5 cm. de longueur et de 44 spires par centimètre. La bobine induite était formée de 32 spires enroulées sur un tube de verre et était disposée au milieu de la bobine magnétisante. On notait la déviation balistique produite par le renversement du courant primaire fourni par 30 éléments Daniell montés en série. Remarquons que cette déviation donnait le flux total traversant la bobine induite, c'est-à-dire $BS + H(S - S')$ ou $4\pi IS + HS$, B désignant l'induction magnétique, I l'intensité d'aimantation, S la section de la bobine induite, S' celle du cylindre de fer et H la force magnétique vraie. Par conséquent, pour avoir des nombres proportionnels à B il fallait retrancher $H(S - S')$ des nombres mesurés, et pour avoir des nombres proportionnels à I il fallait retrancher HS. Une correction, dans laquelle entrait la force magnétique vraie, était donc nécessaire.

Quatre séries de cylindres de 6,5, 10, 20 et 30 cm. de longueur et formés par la réunion de 67 fils de fer ont été étudiées pour des forces magnétisantes produites par cinq valeurs différentes de l'intensité du courant. Quand les fils étaient rassemblés, le cylindre plein qu'ils formaient avait un diamètre de 8 cm.; par suite le rapport λ de la longueur au diamètre était, pour chacun des cylindres étudiés, 8,1, 12,5, 25 et 37,5. Le tableau que donne l'auteur pour résumer les résultats de ses expériences montre que le rapport $\frac{T'}{C'}$ de la déviation balistique corrigée T' pour un cylindre creux à la déviation corrigée C' pour un cylindre plein de même longueur, et de même section métallique tend vers 1 quand λ augmente et d'autant plus rapidement que la force magnétisante augmente. Ainsi, pour une intensité $i = 0{,}01$ amp. du courant d'aimantation, ce rapport passe de 1,60 à 1,34 quand λ passe de 8,1 à 37,5; pour une intensité

$i = 0{,}11$ amp. le rapport passe de 1,77 à 1,02 quand λ varie entre les mêmes limites.

Dans les expériences précédentes l'épaisseur des cylindres creux formés avec les fils de fer était la même (1 mm.). Pour se placer dans des conditions analogues à celles des expériences de M. Grotrian, M. Ascoli fit quelques mesures sur des cylindres creux et un cylindre plein de même longueur (10 cm.), de même diamètre externe (2,24 cm.), mais formés avec des nombres différents de fils de fer, de façon que leur épaisseur soit différente de l'un à l'autre. Le tableau III donne les nombres obtenus pour la force magnétique (ces nombres doivent être divisés par 58,3, si l'on veut la valeur absolue de cette force) ; la première colonne indique le nombre n de couches de fils de fer superposées ; la seconde, le nombre f de ces fils ; les autres, la force magnétique pour les diverses valeurs du courant magnétisant inscrites en tête des colonnes et exprimées en ampères. Le tableau IV donne les valeurs de la force magnétique pour les cylindres pleins obtenus en réunissant ensemble les fils formant les cylindres creux. Si l'on prend le rapport $\frac{T'}{C'}$ des nombres relatifs à un cylindre creux et à un cylindre plein, on constate que ce rapport tend vers l'unité, pour une même intensité du courant d'aimantation, et d'autant plus rapidement que l'épaisseur des cylindres est plus grande.

Tableau III.

CYLINDRES CREUX.

n	f	0,010	0,025	0,050	0,080	0,110
1	66	55,7	163,1	361,5	594	824
2	127	64,1	176,7	377,8	618	860
3	185	68,2	181,3	383,1	626	870
4	230	70,8	185,1	384,8	627	874
plein	377	73,6	187,3	382,5	619	855

Le tableau III montre d'une façon évidente le phénomène observé par M. Grotrian, puisque, quand la section varie de 1 à 6, le flux varie au plus de 1 à 1,3 et, pour les fortes intensités du courant, d'une quantité insignifiante. Le tableau IV montre que dans le cas des cylindres pleins le flux croît dans la proportion de 1 à 2 quand la section croît de 1 à 6.

Par conséquent, si le phénomène de Grotrian est mis en évidence par le tableau III, la comparaison de ce tableau avec le tableau IV indique, contrairement à ce qu'avait trouvé l'auteur dans ses expériences antérieures, que les cylindres creux et les cylindres pleins de même section métallique se comportent d'une façon différente. Mais ce résultat n'est nullement en contradiction avec les vues de l'auteur car, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, cette différence d'action ne doit être faible que si le rapport de la longueur au diamètre est grand, rapport qui, dans les expériences précédentes, était inférieur à 5.

Tableau IV.

CYLINDRES PLEINS.

f	0,010	0,025	0,050	0,080	0,110
66	37,0	102,3	219,2	358,5	497,9
127	47,4	125,5	262,2	428,7	592.5
185	52,9	141,1	293,2	478,5	664,9
230	59,9	155,9	320,3	519,6	724,3
377	73,6	187,3	382,5	619,5	855,0

Pour s'assurer que, pour des valeurs suffisamment grandes de ce rapport, cette différence entre la manière de se comporter des cylindres pleins et celle des cylindres creux diminue, l'auteur fit de nouvelles expériences avec des cylindres pour lesquels la longueur était d'environ 25 diamètres. Les résultats obtenus montrent que dans ces conditions un cylindre creux se comporte comme un cylindre plein de même section pour des valeurs suffisamment grandes de l'intensité du courant magnétisant.

Les considérations et les expériences exposées dans ce Mémoire paraissent donc démontrer les deux points suivants : 1° la réaction du magnétisme induit sur le champ magnétisant suffit pour expliquer tous les faits expérimentaux observés ; 2° les conséquences théoriques déduites de la considération de cette

réaction sont vérifiées par l'expérience. L'auteur en conclut que son explication doit être préférée à celle de M. Grotrian.

M. Ascoli termine cette première partie de son Mémoire par quelques considérations sur les dynamos.

Il fait remarquer que les effets obtenus dans les expériences précédentes par l'augmentation de la longueur pourraient être produits par tout autre moyen propre à diminuer la réaction du magnétisme induit sur le champ magnétisant. L'un de ces moyens consiste à rapprocher les extrémités du corps soumis à l'aimantation de manière à constituer un circuit magnétique fermé ou presque fermé. C'est précisément ce qui existe dans les dynamos; il était donc facile de prévoir les résultats obtenus par M. Schulz dans le travail signalé en commençant, c'est-à-dire la proportionnalité approximative entre le flux et la section du métal et il n'était pas nécessaire, pour expliquer ce résultat, d'imaginer un mode spécial d'aimantation du noyau, comme le font M. Schulz et M. Grotrian.

J. B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Statistique de l'éclairage électrique. — Notre confrère l'*Industrie électrique* résume dans les tableaux suivants son intéressante statistique annuelle relative aux stations centrales d'électricité.

Au 1[er] janvier 1895, le nombre des stations centrales de distribution d'énergie électrique en fonctionnement en France, Paris non compris, était de 328, contre 301 au 1[er] janvier 1894. L'accroissement était donc d'environ 9 pour 100.

Ces 328 stations se répartissent ainsi :

Au point de vue de la nature de la force motrice employée, qui atteint sensiblement, pour l'ensemble des stations, une puissance de 40.000 chevaux :

Forces motrices :	Nombre de stations.	Puissance en chevaux.	Proportion 0/0
Hydraulique	151	9.650	24,50
— et à vapeur	39	6.000	15,00
à vapeur	119	22.000	56,00
à gaz pauvre	5	220	0,55
à gaz de ville	14	1.550	3,95
Totaux	328	39.420	

Au point de vue de la nature des courants et de la puissance utilisée pour leur production :

	Nombre de stations.	Puissance en chevaux.	Proportion 0/0
Courants continus	260	27.895	70,75
— alternatifs simples	73	10.645	27,00
— — polyphasés	3	880	2,25
Totaux	336	39,420	

Dans l'énumération ci-dessus, le nombre des stations se trouve légèrement modifié, huit d'entre elles possédant à la fois des distributions par courants continus et par courants alternatifs simples dont la puissance totale a été répartie entre chaque catégorie.

La statistique met en relief le développement des installations par courants alternatifs. Les stations qui utilisent ces courants sont d'une puissance moyenne plus considérable que les stations à courants continus, 145 chevaux contre moins de 110, soit une différence d'importance d'environ 35 pour 100.

29 stations sont exploitées par des municipalités. Ce sont toutes des petites usines hydrauliques ne distribuant qu'une puissance de quelques kilowatts, empruntés à peu de frais à un cours d'eau voisin.

Les compagnies de gaz exploitent 26 stations, dont quelques-unes très importantes.

Il y avait, au 1[er] janvier de la présente année, 34 stations en construction et 74 en projet plus ou moins avancé ou probable, soit 108 en tout, contre 115 l'année dernière à pareille époque.

Paris. — A partir du 1[er] avril 1894, le prix de l'eau employée à la manœuvre des ascenseurs, desservis par le service des eaux de la ville de Paris sera élevé de 33 à 60 centimes le mètre cube. C'est là un fait, dit avec raison l'*Industrie électrique*, qui intéresse les électriciens en ce sens qu'il favorise l'emploi de l'électricité pour la manœuvre des ascenseurs aux lieu et place de l'eau sous pres-

sion employée presque exclusivement jusqu'à ce jour pour ce service. Il existe actuellement, d'après notre confrère, deux systèmes au moins qui permettent de transformer les ascenseurs hydrauliques en ascenseurs électriques : l'un d'eux n'apporte aucune modification à l'installation et consiste dans l'emploi d'un accumulateur hydraulique entretenu en charge par un moteur électrique mis en marche et arrêté automatiquement ; le second, qui agit directement sans l'intermédiaire d'un accumulateur, ne modifie le système que d'une façon insignifiante.

Alger. — Nous avons dit que la commission du Conseil municipal, chargée d'examiner la possibilité d'installer l'éclairage électrique, a été saisie de diverses propositions émanées d'industriels parisiens.

A son tour, la Compagnie du gaz a été pressentie pour connaître ses intentions sur le point de savoir si elle veut produire l'électricité simultanément avec le gaz et à quelles conditions.

D'après une nouvelle information recueillie par l'*Akhbar*, la Compagnie centrale (Eugène Lebon et Cie) est, paraît-il, résolue à entreprendre l'éclairage électrique à Alger, comme elle l'à déjà fait à Valence (Espagne), à Alexandrie et au Caire. On sait que cette Compagnie éclaire 17 villes en France, 3 en Egypte et 16 en Espagne.

Campan. — Ce bourg se transforme et s'améliore de jour en jour, grâce à l'heureuse initiative de M. Porte et à l'intelligent patronnage de la municipalité.

Les principales rues sont fort bien éclairées à la lumière électrique, et nous apprenons que plusieurs maisons vont adopter le nouvel éclairage.

Lyon. — Le Conseil municipal de cette ville s'est occupé récemment d'une demande de la Compagnie des omnibus et tramways de Lyon, pour la substitution de la traction électrique à la traction mécanique sur la ligne de tramways de Lyon à Saint-Fons et à Vénissieux.

Les conclusions du rapporteur sont défavorables.

Après une longue discussion entre partisans et adversaires de la traction électrique, le Conseil sur l'avis du maire, a donné un avis favorable, mais il réserve son opinion pour le cas où pareille transformation serait proposée en ce qui concerne les lignes urbaines.

Mascara (Algérie). — D'après l'*Echo d'Oran*, on discute ferme en ce moment, au Conseil municipal de Mascara, la question de l'éclairage électrique de cette ville et de l'adduction des eaux des sources de Sidi-Daho. Trois projets sont soumis à la municipalité : un de M. Guitton, ingénieur de Saint-Etienne, un de la Compagnie Patin, de Paris, un de MM. Gastambide et Rouzet. Ils comportent l'utilisation de la chute de Pékan, qui est voisine de la ville et lui a été concédée par l'Etat. Les fonds d'ores et déjà disponibles pour cette installation s'élèvent à 264,000 francs.

Nice. — Le 27 du mois dernier ont eu lieu les premiers essais du nouveau tramway électrique destiné à desservir Cimiez et le jardin zoologique.

Ces essais qui ont parfaitement réussi, seront renouvelés.

Un grand nombre de curieux se pressaient dans la rue de l'Hôtel-des-Postes pour assister au départ du nouveau tramway.

Cimiez est un lieu de rendez-vous très fréquenté; la reine d'Angleterre y résidera cette saison. De nombreux promeneurs y vont visiter les arènes romaines; d'autres font des excursions sur le magnifique plateau de Cimiez, où l'on jouit d'une vue incomparable.

Rennes. — D'après le *Journal de Rennes*, le Conseil municipal a entendu MM. Fayes et Grammont, de Lyon, déjà concessionnaires des tramways de Dijon, Angers et Besançon, pour l'établissement à Rennes d'un réseau de tramways à traction électrique. Ce réseau serait constitué par quatre lignes principales se coupant au centre de la ville sur la place de la Mairie.

Le Conseil municipal sera sans doute appelé à bref délai à discuter ce projet, et tout fait prévoir d'après notre confrère, qu'il se décidera en sa faveur.

La Teste-de-Buch (Gironde). — Cette commune fait appel aux compagnies d'électricité, entrepreneurs, etc., afin de se voir soumettre des plans, projets, cahiers des charges, pour l'éclairage de ses voies et places publiques.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie J. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 16 Mars 1895. N° 11.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉLECTROSTATIQUE

NON FONDÉE SUR LES LOIS DE COULOMB

FORCE ÉLECTRIQUE AGISSANT A LA SURFACE DE SÉPARATION DE DEUX DIÉLECTRIQUES (1)

Pour pouvoir établir les propriétés des diélectriques que j'ai en vue, il me reste à donner un dernier théorème général d'électrostatique, le *théorème de la déformation d'un condensateur*.

Considérons un condensateur possédant entre ses armatures homogènes un diélectrique homogène ou hétérogène, mais non électrisé. Supposons que le condensateur subisse une déformation infiniment lente (déplacement d'une armature, d'un diélectrique, etc.), pendant laquelle chaque armature reste isolée de façon à conserver une charge M constante. Les forces extérieures au condensateur qui font équilibre aux forces électriques agissant entre ses parties, accomplissent, pendant la déformation, un certain travail W, égal en valeur absolue, mais de signe contraire, au travail T des forces électriques

$$W = -T, \tag{1}$$

puisqu'il n'y a pas de variation de force vive.

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 16 février, p. 289.

Ce travail W des forces extérieures fait varier l'énergie du condensateur d'une quantité égale; or, cette variation d'énergie porte exclusivement sur la variation de l'énergie électrique, puisque la variation d'énergie calorifique est nulle d'après le principe des déformations infiniment lentes. En appelant C la capacité du condensateur et V la différence de potentiel de ses armatures, la charge M de celles-ci est donnée par

$$M = CV. \tag{2}$$

et l'énergie électrique E du condensateur par

$$E = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} \frac{M^2}{C}. \tag{3}$$

Or, par hypothèse, M restant constant pendant la déformation, la variation d'énergie électrique ne peut provenir que d'une variation dans la capacité, qui passe d'une valeur C_1 à une valeur C_2; cette variation d'énergie est donc

$$\frac{1}{2} M^2 \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right),$$

et l'on a par conséquent :

$$W = \frac{1}{2} M^2 \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right), \tag{4}$$

d'où :

$$T = \frac{1}{2} M^2 \left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}\right). \tag{5}$$

Si la déformation est infiniment petite, la relation (5) devient

$$(6) \qquad dT = \frac{1}{2}\frac{M^2}{C^2}dC = \frac{1}{2}V^2dC\,.$$

Or, pour une même déformation infiniment petite, il est clair que le travail dT des forces électriques et la variation dC de la capacité restent les mêmes, que les armatures soient isolées ou non ; par conséquent la relation (6) s'applique dans tous les cas.

Supposons que la déformation infiniment petite consiste simplement en ce qu'une seule partie du condensateur se déplace parallèlement à elle-même d'une certaine quantité da. En représentant par F la composante dans la direction du déplacement de la force électrique agissant sur cette partie du condensateur, le travail de cette force est Fda et l'on a d'après (6) :

$$Fda = \frac{1}{2}V^2dC\,,$$

d'où :

$$(7) \qquad F = \frac{1}{2}V^2\frac{dC}{da}.$$

Si, au contraire, la déformation consiste uniquement en une rotation d'un angle infiniment petit $d\alpha$, autour d'un axe, de l'une des parties du condensateur, en désignant par c le moment de la force électrique qui agit sur cette partie par rapport à cet axe, on a d'après (6):

$$c\,d\alpha = \frac{1}{2}V^2dC\,,$$

d'où :

$$(8) \qquad c = \frac{1}{2}V^2\frac{dC}{d\alpha}.$$

Les relations (7) et (8) font connaître complètement les forces électriques qui agissent sur une partie d'un condensateur, si l'on sait trouver la dérivée de la capacité par rapport aux déplacements parallèles à trois axes rectangulaires, et par rapport aux rotations autour de ces trois axes. Sans même traiter aussi complètement la question, l'une ou l'autre des relations (7) et (8) est fort commode pour résoudre certains problèmes, par exemple pour établir la théorie des électromètres.

Je vais me servir de ces relations pour montrer l'existence de forces agissant à la surface de séparation de deux diélectriques et en trouver la grandeur. Avant de donner le résultat dans le cas général, je traiterai deux cas particuliers simples.

Considérons un condensateur dont les armatures sont deux surfaces planes rectangulaires parallèles PP′ et QQ′ (fig. 1) ; pour fixer les idées nous supposerons les côtés horizontaux et verticaux, et ayant des longueurs respectivement égales à b et b', infiniment grandes vis-à-vis de la distance e des armatures.

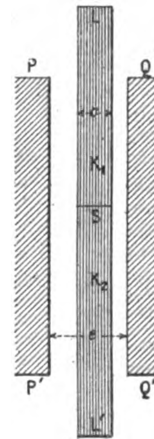


Fig. 1. — Condensateur à lame diélectrique hétérogène.

Entre celles-ci se trouve une lame diélectrique LL′ à faces planes parallèles aux armatures et d'épaisseur c. Cette lame est composée de deux diélectriques séparés par un plan horizontal S situé vers le milieu de la hauteur des armatures, K_1 et K_2 étant respectivement les pouvoirs inducteurs spécifiques de la partie supérieure et de la partie inférieure de la lame. Celle-ci déborde assez largement les armatures pour que ses bords soient en dehors du champ électrique quand le condensateur est chargé. Enfin, les deux faces de la lame et les armatures sont baignées par un troisième diélectrique de pouvoir inducteur spécifique K'. Les trois diélectriques, par hypothèse, ne sont pas électrisés.

Entre les armatures, loin des bords et de la

surface S, les surfaces équipotentielles sont des plans parallèles aux faces des armatures, par raison de symétrie; les tubes de forces sont donc des cylindres. En écrivant que le flux d'induction est constant dans chaque section droite de ces cylindres, on a, en désignant par φ' et φ les intensités du champ dans les diélectriques de pouvoir inducteur spécifique K' et K (K étant égal à K_1 ou K_2 suivant que le tube de force considéré traverse la partie supérieure ou inférieure de la lame),

$$(9) \qquad \varphi K = \varphi' K'.$$

D'ailleurs, en appelant V la différence du potentiel des armatures, la définition même de cette grandeur donne

$$(10) \qquad V = \varphi'(e - c) + \varphi c.$$

En désignant par μ' la densité électrique superficielle des armatures sur les bases du tube de force considéré, on a :

$$(11) \qquad \frac{4\pi\mu'}{K'} = \varphi',$$

d'où :

$$\mu' = \frac{K'\varphi'}{4\pi},$$

et d'après (9) et (10),

$$(12) \qquad \mu' = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{VKK'}{K(e-c) + K'c}.$$

Suivant que le tube de force traverse la partie supérieure ou inférieure de la lame, K et μ' doivent être faits égaux à K_1 et μ'_1 ou K_2 et μ'_2 ; on a donc :

$$(13) \qquad \mu'_1 = \frac{1}{4\pi} \frac{VK_1K'}{K_1(e-c) + K'c},$$

et

$$\mu_2' = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{VK_2K'}{K_2(e-c) + K'c}.$$

Supposons que la lame s'élève d'une quantité da ; la région inférieure des armatures où la densité superficielle est μ'_2 s'accroît d'une bande de surface bda, tandis que la région supérieure des armatures où la densité est μ'_1, diminue d'une bande de même surface bda ; par conséquent, si la différence de potentiel des armatures V reste constante, la charge de celles-ci augmente d'une quantité dM donnée par

$$(14) \qquad dM = (\mu'_2 - \mu'_1)\, bda.$$

Or, en représentant par dC la variation de capacité du condensateur due au déplacement da de la lame diélectrique, on a :

$$(15) \qquad dM = VdC,$$

d'où :

$$\frac{dC}{da} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dM}{da} = \frac{b}{V}\left(\mu'_2 - \mu'_1\right).$$

La dérivée $\frac{dC}{da}$ n'étant pas nulle, la relation (7) montre qu'une force agit sur la lame diélectrique dont la composante verticale F est donnée par

$$(16) \qquad F = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{da} = \frac{bV}{2}\left(\mu'_2 - \mu'_1\right)$$

$$= \frac{K'V^2 b}{8\pi}\left[\frac{K_2}{K_2(e-c) + K'c} - \frac{K_1}{K_1(e-c) + K'c}\right];$$

suivant que la valeur de F est positive ou négative, le sens de cette composante est celui du déplacement supposé, c'est-à-dire de bas en haut, ou le sens contraire.

On voit tout de suite qu'un déplacement de la lame LL', infiniment petit da dans une direction horizontale quelconque donne $\frac{dC}{da} = 0$ si la lame occupe le milieu de l'intervalle laissé entre les armatures, puisqu'alors la capacité C du condensateur est maxima ou minima pour un déplacement horizontal. Dans ce cas, la force qui agit sur la lame n'a pas de composante horizontale et la force totale est donnée par la relation (16).

Dans le cas particulier où la lame LL' occupe tout l'intervalle laissé entre les plateaux ($c = e$), partout, même près de la surface S, les lignes de forces sont des droites parallèles, et le champ a partout la valeur constante $\varphi = \frac{V}{e}$. La relation (16) donne pour la force F agissant sur la lame :

$$(17) \qquad F = \frac{V^2 b\,(K_2 - K_1)}{8\pi e} = \frac{be\,\varphi^2\,(K_2 - K_1)}{8\pi}.$$

La force ne dépendant que des propriétés du champ et des milieux (1) et (2) à la surface S ne peut avoir son point d'application que sur cette surface à l'étendue (*be*) de laquelle elle est proportionnelle pour une même valeur du champ φ. Cette force, étant verticale, est dans ce cas perpendiculaire aux lignes de forces puisque celles-ci sont horizontales.

Ainsi, il existe à la surface de séparation de deux diélectriques des forces qui méritent encore le nom de *forces électriques* puisqu'elles n'existeraient pas si le champ électrique était nul, mais qui ne sont pas forcément dans la direction des lignes de forces ; elles se distinguent complètement par cette propriété des forces électriques agissant sur les corps électrisés, qui ont été à peu près seules considérées jusqu'ici en électrostatique.

La relation 16 se prête à de nombreuses vérifications expérimentales. Je vais en indiquer quelques-unes.

Une lame de paraffine (ou d'un autre diélectrique solide) est suspendue verticalement sous le bassin d'une balance entre deux plateaux métalliques verticaux formant les armatures PP′ et QQ′ du condensateur ; le bas de la lame de paraffine s'arrête environ à mi-hauteur des plateaux, et le haut dépasse de beaucoup la partie supérieure de ceux-ci. Avant de charger ce condensateur, on fait équilibre au poids de la lame avec une tare ; puis on crée le champ électrique en portant à des potentiels différents les deux plateaux PP′ et QQ′. Ici la lame mixte LL′ est constituée en haut par de la paraffine, en bas par de l'air ; dans la formule (16) il faudra faire $K' = K_2 = 1 \quad K_1 = K$ (pouvoir inducteur spécifique de la paraffine) et nous aurons :

$$(18) \qquad F = -\frac{bc\,V^2\,(K - 1)}{8\pi e\,[K\,(e - c) + c]}.$$

La valeur de la force F étant négative, cette force est dirigée de haut en bas. On doit donc voir la lame de paraffine descendre en faisant incliner le fléau de la balance de son côté au moment où l'on crée le champ électrique.

C'est bien le résultat qu'a fourni l'expérience ; en outre, en mesurant les diverses quantités qui entrent dans le second membre de la relation (18), j'ai trouvé que cette relation donnait bien la valeur de la force observée ; celle-ci était obtenue par une pesée [1].

Au lieu d'être constituée par un diélectrique

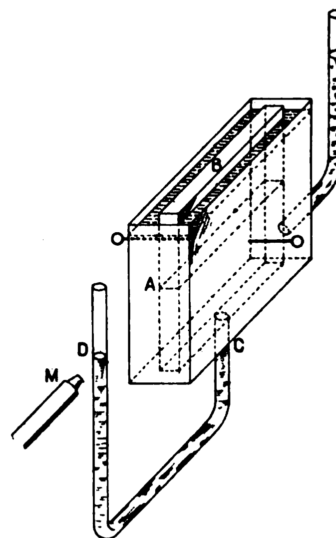


Fig. 2. — Appareil servant à démontrer l'existence des forces électriques à la surface de séparation de deux diélectriques.

solide et l'air, la lame mixte LL′ peut être formée par l'air et un diélectrique liquide.

Je me suis servi pour cette expérience d'une boîte rectangulaire B en ébonite (fig. 2) à parois très minces contenue à l'intérieur d'une caisse en ébonite aussi A, dont les faces les plus larges sont garnies intérieurement de plaques de laiton formant les deux armatures du condensateur. On verse dans la boîte B un liquide diélectrique jusqu'à mi-hauteur. Ce liquide s'élève à la même hauteur dans la branche verticale D d'un tube de verre deux fois recourbé, dont la branche C communique

[1] Je n'ai pas encore publié ces expériences ni celles qui sont indiquées plus loin.

avec la boîte B. Le niveau est observé en D au moyen d'un microscope M, ou par un autre procédé.

On peut, pour varier l'expérience, 1° laisser la caisse A pleine d'air; 2° y verser le même liquide diélectrique jusqu'à la même hauteur que dans la boîte B; 3° la remplir jusqu'au haut du liquide diélectrique.

La force électrique agissant verticalement (normalement à la surface libre du liquide de la boîte B), s'obtient d'après la formule (16), en faisant :

dans le premier cas $K' = K_1 = 1 \quad K_2 = K$ (pouvoir inducteur spécifique du liquide), ce qui donne :

$$F = \frac{bc\ V^2\ (K - 1)}{8\pi e\ [K\ (e - c) + c]}; \tag{19}$$

dans le troisième cas $K_1 = 1 \quad K' = K_2 = K$ (pouvoir inducteur spécifique du liquide), ce qui donne :

$$F = \frac{bc\ V^2 K\ (K - 1)}{8\pi e\ (e - c + K\ c)}; \tag{20}$$

dans le deuxième cas $e = c$, mais en réduisant la force à l'étendue de la surface bc du liquide contenu dans la boîte B, puisque la relation (16) donne alors la force s'exerçant sur toute l'étendue be du liquide. Il faut faire, en outre, comme ci-dessus $K_1 = 1 \quad K_2 = K$, ce qui donne :

$$F = \frac{bc\ V^2\ (K - 1)}{8\pi c^2}. \tag{21}$$

Dans les trois cas, la force est positive, c'est-à-dire dirigée de bas en haut. Elle fait monter le liquide dans la boîte d'une hauteur x, baisser le liquide dans les tubes communiquants D, d'une quantité v jusqu'à ce que la force hydrostatique due à la dénivellation $x + y$ vienne compenser la force électrique F, ce qui a lieu quand

$$(x + y)\ dg S = F, \tag{22}$$

en désignant par d la masse spécifique du liquide, par g l'intensité de la pesanteur et par S l'étendue (bc) de la surface libre du liquide dans la boîte. Du reste, en désignant par s la section droite du tube cylindrique en D, on a :

$$sy = Sx, \tag{23}$$

d'où :

$$y = \frac{F}{gd\ (S + s)}, \tag{24}$$

où F est donné suivant le cas considéré, par l'une des relations (19), (20) ou (21).

C'est l'abaissement y du liquide en D qui est observé. L'expérience a confirmé l'exactitude des relations ci-dessus, non seulement comme sens du phénomène, mais aussi comme grandeur de l'effet produit.

L'expérience du deuxième cas, celui de l'égalité de niveau du liquide dans les boîtes A et B ne diffère de l'expérience de M. Quincke, mentionnée plus haut, que par la disposition expérimentale qui est plus commode. Cette expérience de M. Quincke est, à ma connaissance, la seule expérience qui ait été faite avant les miennes sur ce sujet.

Le second cas particulier que je vais considérer est celui où les lignes de force sont normales à la surface de séparation des deux diélectriques. Supposons un condensateur dont les armatures sont des plans parallèles de dimensions linéaires infinies vis-à-vis de leur distance e; pour fixer les idées je supposerai ces armatures horizontales. Entre les deux se trouvent deux diélectriques différents séparés par un plan parallèle aux armatures; soient K_1 et K_2, les pouvoirs inducteurs spécifiques du diélectrique supérieur et du diélectrique inférieur et a l'épaisseur de ce dernier. Dans ces conditions, une ligne de force est une droite verticale ; le champ a une intensité constante φ_1 dans le diélectrique supérieur, une intensité constante φ_2 dans le diélectrique inférieur, et l'on a

$$\varphi_1 K_1 = \varphi_2 K_2. \tag{25}$$

La différence de potentiel V des armatures est fournie par

$$V = \varphi_2 a + \varphi_1 (e - a) = \left(a\ \frac{K_1}{K_2} + e - a\right) \varphi_1, \tag{26}$$

et la densité superficielle μ par

$$(27) \qquad 4\pi\mu = K_1\varphi_1 = K_2\varphi_2,$$

d'où

$$(28) \qquad \mu = \frac{1}{4\pi}\frac{K_1 K_2 V}{a K_1 + (e-a) K_2}.$$

En appelant S la surface des armatures, la capacité C est donnée, en négligeant un infiniment petit par rapport à C dû à l'effet des bords, par

$$(29) \qquad CV = S\mu = \frac{S}{4\pi}\frac{K_1 K_2 V}{aK_1 + (e-a) K_2},$$

d'où

$$(30) \qquad C = \frac{S}{4\pi}\frac{K_1 K_2}{aK_1 + (e-a) K_2}.$$

Si donc l'épaisseur a du diélectrique inférieur varie (comme on peut le réaliser si ce diélectrique est un liquide et l'autre un fluide non miscible avec lui), la capacité variera, et l'on aura

$$(31) \qquad \frac{dC}{da} = -\frac{S}{4\pi}\frac{K_1 K_2 (K_1 - K_2)}{[a K_1 + (e-a) K_2]^2}.$$

Par conséquent, la surface de séparation est soumise à une force, normale par raison de symétrie et donnée, d'après la relation (7), par

$$(32) \qquad F = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{da} = -\frac{SV^2}{8\pi}\frac{K_1 K_2 (K_1 - K_2)}{[a K_1 + (e-a) K_2]^2}$$
$$= S\left(\frac{K_1\varphi_1^2}{8\pi} - \frac{K_2\varphi_2^2}{8\pi}\right).$$

La force est positive, c'est-à-dire dirigée de bas en haut, si K_2 est plus grand que K_1.

L'expérience paraît facile à faire avec l'appareil représenté (fig. 3); il doit se produire un abaissement de liquide dans le tube coudé du même ordre de grandeur que dans les expériences précédemment indiquées [1].

Après avoir traité complètement les deux cas particuliers où, dans l'un, les lignes de force sont tengantes, dans l'autre, normales à la surface de séparation des deux diélectriques, il reste à traiter le cas général, celui où les lignes de force sont obliques à la surface de séparation et où celle-ci a une forme quelconque.

[1] Je n'ai pas encore réalisé cette expérience.

J'y arrive par une démonstration tout à fait analogue aux précédentes, mais en considérant un condensateur d'une forme plus compliquée nécessairement.

La relation établie d'abord dans le cas d'une surface de séparation plane est généralisée au moyen du principe de l'action de milieu. La longueur des calculs, fort simples, du reste, ne me permet pas de les exposer dans cet article [1]. Je me borne à indiquer le résultat :

« La force qui agit sur un élément de la surface de séparation de deux diélectriques non électrisés, placés dans un champ électrique, est normale à l'élément, dirigée du côté où le pouvoir inducteur spécifique est le plus faible

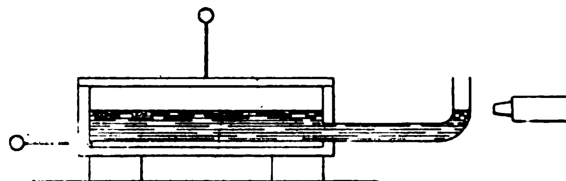


Fig. 3. — Disposition expérimentale pour le cas où les lignes de force sont normales à la surface de séparation des diélectriques.

et proportionnelle à l'aire de l'élément considéré. Sa valeur f par unité de surface est donnée par

$$f = \frac{K_1 \varphi_1^2 \cos 2\alpha_1}{8\pi} - \frac{K_2 \varphi_2^2 \cos 2\alpha_2}{8\pi},$$

ou

$$f = \frac{K_2\varphi_2^2 \sin 2(\alpha_2 - \alpha_1)}{8\pi \sin 2\alpha_1},$$

relations dans lesquelles K_1 et K_2 sont les pouvoirs inducteurs spécifiques, φ_1 et φ_2, les intensités du champ, α_1, et α_2 les angles de la direction du champ avec la normale à l'élément de part et d'autre de la surface de séparation des deux diélectriques. »

Ainsi la surface libre d'un diélectrique non

[1] On trouvera ces calculs *in extenso* dans le mémoire qui paraîtra le 1er mai dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

électrisé placé dans un champ électrique, est tirée normalement en tous ses points par des forces si son pouvoir inducteur spécifique est plus grand que celui du milieu ambiant, poussé normalement en tous ses points, si son pouvoir inducteur spécifique est inférieur à celui du milieu ambiant.

J'arrive ainsi, sans faire d'hypothèses, à la même conclusion que celle qu'on peut tirer de l'hypothèse de Maxwell sur l'état de tension et de pression d'un milieu diélectrique homogène dans un champ électrique. Les vérifications expérimentales qui montrent la réalité des forces qui agissent à la surface de deux diélectriques ne peuvent donc pas être invoquées pour prouver la justesse de la conception de Maxwell.

A la fin du mémoire, je montre comment on peut déduire, des relations qui y ont été établies, l'action d'un point électrisé de charge m sur un autre point électrisé de charge m' placé à une distance r du premier dans un diélectrique homogène s'étendant non seulement entre les deux points, mais encore au loin de la région occupée par ceux-ci. Dans ce cas, on trouve que la force F qui agit entre les points, est dirigée suivant la droite qui les joint, et donnée par

$$F = \frac{mm'}{Kr^2};$$

c'est la relation de Coulomb.

On voit que, conformément à ce que j'indiquais au début du premier article, la constante de la relation de Coulomb est $\frac{1}{K}$, c'est-à-dire dépend du pouvoir inducteur spécifique du milieu homogène considéré.

L'action d'un point électrisé sur un autre n'est plus représentée par la relation de Coulomb dès que le diélectrique n'est plus partout homogène, même si les deux points sont noyés dans le même diélectrique homogène, quand sa surface limite est près du point sur lequel on considère l'action.

Le défaut de généralité des lois de Coulomb rendait nécessaire d'établir sur d'autres bases expérimentales l'électrostatique. Tel a été le but du mémoire dont je viens de donner un résumé.

H. PELLAT
Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

L'EXTENSION
DES RELATIONS TÉLÉPHONIQUES

I

UNE CONFÉRENCE DE M. KINGSBURY

L'Association des ingénieurs électriciens anglais vient d'entendre, de l'un de ses membres, un intéressant exposé de l'origine et du développement du commutateur téléphonique.

Les détails techniques que donne M. Kingsbury, relativement au perfectionnement successif du mode d'établissement des communications dans les bureaux téléphoniques centraux, n'offrent point un intérêt de nouveauté pour les téléphonistes de profession ; mais ils mettent en évidence un fait frappant : l'extension de la téléphonie subordonnée au mode technique d'exploitation des bureaux d'intercommunication.

Les premiers appareils employés ont été empruntés d'abord à la télégraphie, ainsi que l'idée même des bureaux centraux dont l'origine première remonte, d'après M. Kingsbury et M. Lockwood, à un brevet anglais du 7 février 1851, accordé à un Français, F. M. A. Dumont. Des bureaux centraux de télégraphie Wheatstone ont été jadis établis par le Post-Office, à Newcastle, d'autres à New-York, en 1874 ou 1875.

Les premiers bureaux téléphoniques centraux ouverts à Londres datent de 1879 et furent ceux de la Compagnie Edison et de la Compagnie Bell ; c'est de la même année que date un brevet de C. C. Scribner, introduisant les premiers perfectionnements marqués du commutateur téléphonique et même, d'après M. Kingsbury, l'usage d'un indicateur de fin

de conversation restant en dérivation sur deux lignes reliées sans troubler la communication téléphonique. Le conférencier rattache à cet appareil l'origine du commutateur Standard caractérisé par l'association des fiches de liaison, des clés d'appel, des clés d'écoute et des annonciateurs.

Le commutateur Standard demeure le plus efficace de ce qu'on peut nommer les commutateurs téléphoniques simples, ceux ne comportant qu'une seule prise de contact — un seul jack — par ligne, un point unique d'accès dans le bureau.

Les mécanismes du commutateur Standard sont excellents, des types français déjà anciens du genre comportent la fiche concentrique ronde dont M. Kingsbury réclame l'invention pour J. C. Warner (de la Western Electric C°) et dont la supériorité mécanique est indéniable. Le point faible du système gît bien dans la nécessité de « faire manœuvrer les fils de communication par des opérateurs différents », en d'autres termes dans les lignes de renvoi.

Le commutateur multiple américain (¹) a fourni une solution radicale de la difficulté en mettant à la portée de chacun des opérateurs d'un bureau central (pratiquement jusqu'à 6.000 lignes) l'ensemble de toutes les lignes du bureau, et en permettant à chacun de s'assurer par une épreuve électrique simple de l'état d'occupation ou de liberté d'une ligne quelconque. M. Kingsbury fait très bien ressortir la double conception du système multiple, réalisée non seulement par la multiplication des prises de contact de chaque ligne — multiplage des jacks — mais aussi par l'innovation du système d'essai des lignes.

Sauf des modifications de grandeur ou de construction, le plan général des circuits de commutateur multiple de 1884, est demeuré stationnaire pendant quelques années ; il a desservi avec succès les réseaux mixtes où les lignes à fil unique et celles à double fil étaient employées concurremment, il a joué un rôle prépondérant dans cette période de transition des réseaux et répondu à toutes les exigences pendant une période d'accroissement considérable de la téléphonie.

(¹) Commutateur multiple de C. C. Haskins et C. H. Wilson, décrit par Th. du Moncel dans le tome III de la *Lumière électrique*, p. 225, 1881.

Il faut pourtant reconnaître que ce commutateur présente encore une sérieuse imperfection : les défauts provenant du mauvais contact des jacks dont le nombre croît proportionnellement à l'importance des bureaux.

La suppression de tout contact dormant dans des jacks sans rupture est la dernière grande innovation qu'il y a à signaler dans le système anglais du Post Office comme dans le commutateur multiple *à embranchement*, de C. E. Scribner. Ces nouveaux systèmes sont caractérisés essentiellement par la liaison des lignes en dérivation. Le nouveau multiple *à embranchement* ou *en dérivation* présente enfin dans sa forme définitive et actuelle d'application, comme particularités notables : le relèvement automatique des annonciateurs et l'indépendance du circuit d'essai associé automatiquement à cette manœuvre. Les derniers commutateurs multiples installés à Londres sont du système à embranchement.

II

LES ÉTAPES SUCCESSIVES DU COMMUTATEUR TÉLÉPHONIQUE

Au résumé précédent de la conférence de M. Kingsbury nous joignons à titre de corollaire une description succincte rappelant les trois types principaux de commutateurs qui ont caractérisé jusqu'ici le développement de la téléphonie.

Commutateur Standard. — Qu'il s'agisse de l'ancien *Western electric Board* de 1883, (fig. 1), ou du modèle perfectionné français de 1890, (fig, 2), ce type d'appareil attribue dans le bureau à chaque ligne un annonciateur individuel et une prise de contact à ressort. L'annonciateur comporte uniformément un électro-aimant déclanchant un volet. Quant à la prise de contact à ressort, la figure 3 représente l'un des plus anciens types de jacks à

ressort et à fiche concentrique; le circuit des fils L L' est normalement fermé par le contact du ressort R sur le contact dormant de F. L'insertion d'une fiche dans un jack (fig. 4) rompt la continuité des fils L L' et prolonge ceux-ci par les fils conducteurs de la fiche insérée.

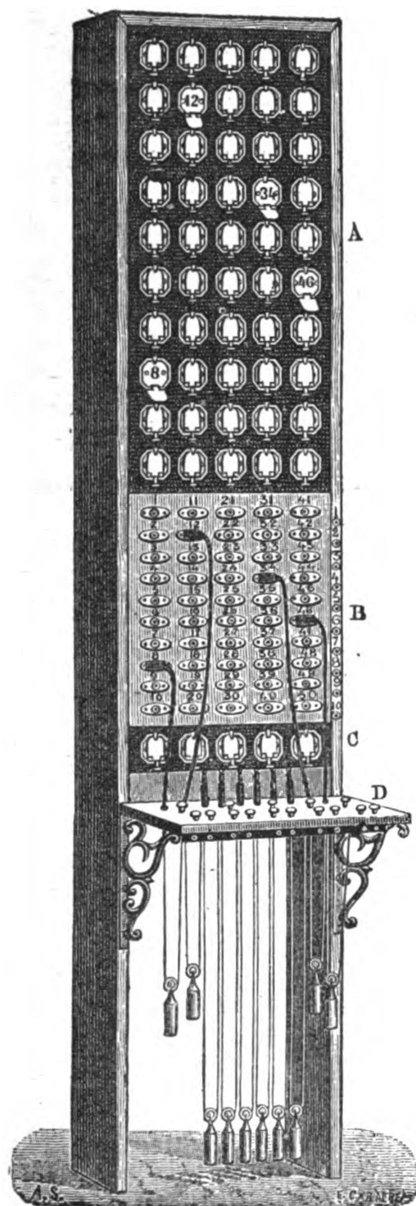


Fig. 1. — Western electric Board (1883).

Suivant les connexions du type Standard, (fig. 5), le circuit d'une ligne L L' est normalement fermé par le contact du ressort de jack sur l'annonciateur individuel *a* qui avertit l'opérateur du bureau de l'appel de l'abonné.

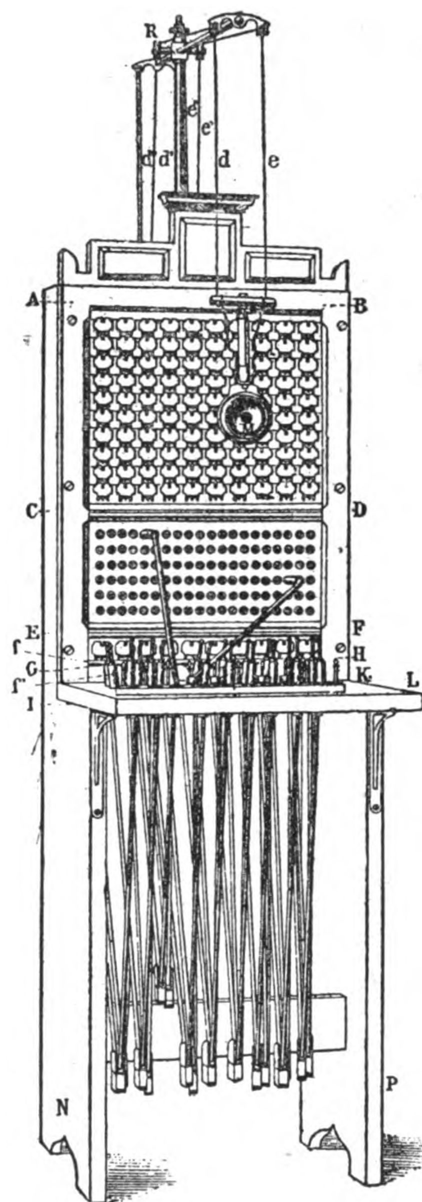


Fig. 2. — Commutateur Standard (1890).

Les liaisons s'établissent au moyen de deux fiches accouplées et associées par l'intermédiaire d'un commutateur spécial (clé d'écoute représentée par les ressorts F et Φ) soit avec les organes téléphoniques de l'opérateur (té-

léphone t, bobine d'induction I et accessoires), soit avec l'annonciateur de fin de conversation E.

L et L' sont les fils d'une ligne et a son annonciateur individuel ; L_1 L_1' et a_1 sont les organes correspondant d'une autre ligne. Les fiches accouplées sont indiquées par $f\varphi$ et $f'\varphi'$; la pile G sert à l'appel des abonnés par l'intermé-

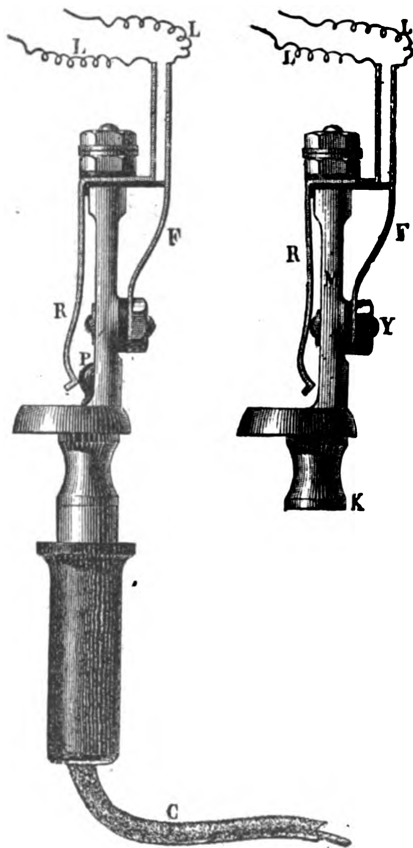


Fig. 3 et 4. — Jack à fiche concentrique.

diaire des clés d'appel k ou k'. Enfin F et Φ représentent les leviers de contact du commutateur associé aux deux fiches. (Un modèle de pareil organe ou clé d'écoute est dessiné figure 6.)

Les lignes d'un bureau occupant autant de tables analogues à celles de la figure 2 qu'il y a par exemple de fois 100 abonnés, les communications de lignes n'aboutissant pas à des tables voisines nécessitent l'emploi de fils d'intercommunication à la portée des deux opérateurs préposés au service de chacune.

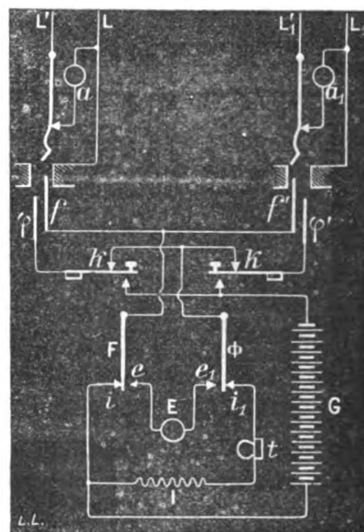


Fig. 5. — Diagramme des communications par le Standard.

Comme il faut pareille ressource de chaque table vers chacune des autres d'un bureau, les

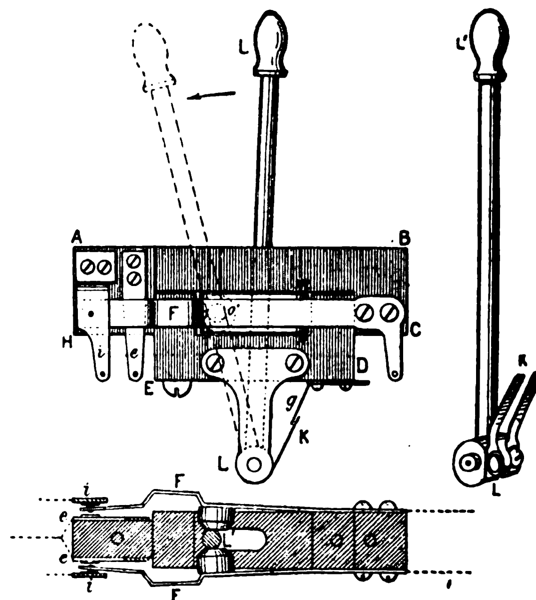


Fig. 6. — Clé d'écoute.

difficultés deviennent rapidement inextricables quand le nombre des abonnés augmente ainsi que l'expérience ne s'est que trop chargée de le prouver.

Commutateur multiple américain. — Relativement au système précédent, on peut dire que le commutateur multiple a résolu le problème de la suppression des lignes de renvoi d'un bureau en établissant en permanence le renvoi de chaque ligne à la portée de chaque opérateur; il s'y ajoute, particularité essentielle, la faculté pour chaque opérateur de s'assurer directement de l'état d'occupation ou de liberté d'une ligne quelconque. Sa mise à portée de tous les opérateurs d'une ligne quelconque est résolue dans ce système en attribuant à celle-ci, dans le bureau, autant de prises de contact, autant de jacks qu'il y a de régions à la portée d'un même groupe d'opérateurs; chacune de ces régions, sous le nom de table de section, comprend un jack de chacune des lignes du bureau, et les annonciateurs desservis par un groupe d'opérateurs. (Au multiple parisien de la rue Gutenberg, la table de section comprend un groupe de trois opérateurs desservant ensemble 240 annonciateurs de lignes.)

Sur le diagramme des connexions par le commutateur multiple américain (fig. 7), on voit le parcours des fils de la ligne de l'abonné

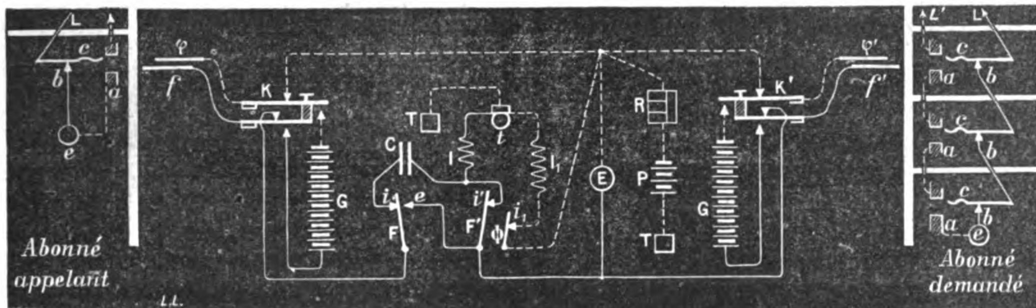


Fig. 7. — Diagramme des communications par le commutateur multiple américain.

demandé L *cb*... *cb*.. *cb*. *c* et L'.*a*.*a*..*a*...*c*, traversant les jacks de trois tables avant d'aboutir à son annonciateur individuel *e*. Chaque ligne passe ainsi par autant de jacks à ressort qu'il y a de tables de section dans le bureau. (Le nombre des tables est de 24 au multiple de la rue Gutenberg.)

L'établissement des liaisons s'effectue encore par fiches doubles $f\varphi$ et $f'\varphi'$ associées par l'intermédiaire d'une clé d'écoute (F, F', Φ) soit avec les organes du poste de l'opérateur (*t*, I), soit avec l'annonciateur de fin de conversation E; le lecteur suivra sans peine sur le diagramme la ramification des circuits, le jeu des clés et piles d'appel K et G. Mais il reste à dire le rôle des organes indiqués en T, R, P et C, à exposer le mode d'épreuve des lignes décelant aux opérateurs la liberté ou l'occupation des lignes.

Lorsque deux lignes sont en communication par l'insertion des fiches $f\varphi$ et $f'\varphi'$ dans les jacks correspondants le fil $\varphi\varphi'$ met en communication la partie antérieure *a* de tous les jacks de ces lignes et les porte au potentiel de la pile P avec laquelle ils communiquent par l'intermédiaire d'un électro-aimant à forte self-induction R; l'autre pôle de la pile *P* est à la terre ou dans le bureau à un fil T commun à tous les organes analogues. Dans ces conditions, si un autre opérateur du bureau touche avec l'extrémité *f'* d'une fiche le massif antérieur *a* d'une ligne déjà occupée, le courant de la pile d'essai qui est relié ailleurs se dérive par $f'F'i'ItT$ au travers du téléphone *t* de cet opérateur et l'avertit par un *toc* de l'occupation de la ligne. Rien de pareil ne se produit si le jack où l'opérateur veut insérer sa fiche est isolé du circuit à fil commun T, si la ligne est libre en un mot.

Avant d'insérer la fiche $f'\varphi'$ dans le jack d'un abonné demandé, l'opérateur s'assure ainsi de l'état de la ligne et n'effectue la liaison désirée qu'autant qu'il trouve la ligne libre. L'organe

figuré en C est un condensateur-séparateur interposé pour éviter une dérivation intempes-

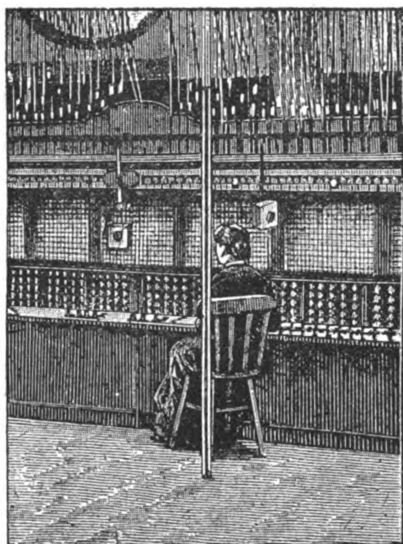


Fig. 8. — Commutateur multiple américain (1884).

tive du courant d'essai au travers du poste de l'abonné appelant.

Depuis les premiers modèles du commutateur multiple américain installés en 1884 à New-York et à Liverpool (fig. 8) par la Western

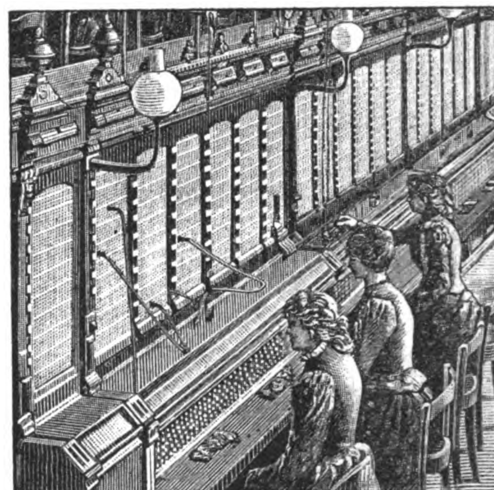


Fig. 9. — Commutateur multiple américain (6.000 lignes).

Electric C° (pour 2.500 lignes) le système a subi des perfectionnements de détail qui ont permis

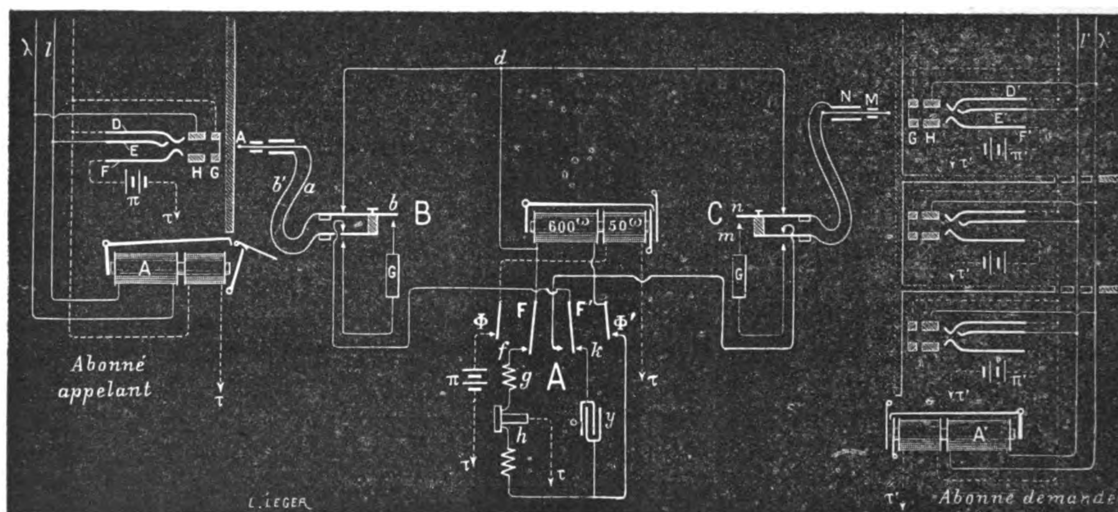


Fig. 10. — Diagramme des communications par le commutateur multiple en dérivation.

de porter la capacité pratique des plus grands commutateurs multiples (fig. 9) jusqu'à 6.000 lignes. Celui monté à Paris rue Gutenberg dessert 5.520 lignes d'abonnés et 480 lignes de renvoi (¹).

(¹) Une table du modèle employé à Paris est exposée

La multiplicité des contacts sur le parcours de chaque ligne dans un bureau établi d'après le type du commutateur multiple américain n'a pas fait obstacle au développement du système, ce n'est donc pas pratiquement un inconvénient dont il faille exagérer l'importance; néanmoins, la suppression de cette cause éventuelle de défauts dans le dernier type de commutateur multiple parvenu à la période d'application, est un perfectionnement sérieux.

Commutateur multiple en dérivation. — C'est à Albany, dans l'État de New-York, et à l'exposition de Chicago qu'ont fonctionné les premiers bureaux montés suivant ce système. Il dérive immédiatement du commutateur à embranchement (branching system) du brevet de 1890 de C. E. Scribner, et la particularité principale de son montage — qui existe aussi dans le commutateur du Post Office anglais — est la liaison en dérivation des jacks fonctionnant comme doubles prises de courant sans rupture de circuit.

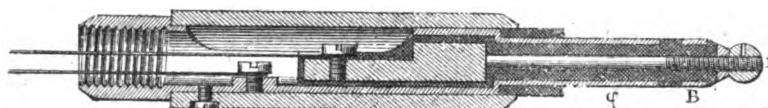


Fig. 11. — Fiche du jack sans rupture.

La figure 10 indique le diagramme des connexions dans ce système; on y remarquera d'abord la ramification vers trois sections des fils de ligne $l'\lambda'$ et du fil d'essai (ponctué) de l'abonné demandé, et l'on s'y reportera ensuite pour l'examen des liaisons après avoir étudié les figures représentant la construction particulière des organes de ce type :

Le jack sans rupture (fig. 11), la fiche correspondante (fig. 12), les contacts établis par l'insertion d'une fiche (fig. 13), la clé d'écoute $FF'\varphi\varphi'$ (fig. 14), l'annonciateur à relèvement automatique (fig. 15).

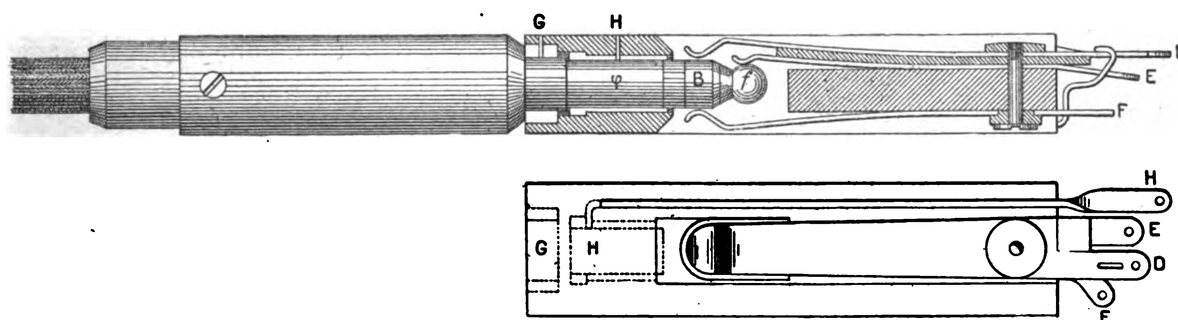


Fig. 12 et 13. — Fiche insérée dans un jack.

Les fils l et λ de la ligne d'un abonné aboutissent (fig. 10) l'un au ressort E, l'autre à la partie interne H du jack; lors de l'insertion d'une fiche (fig. 12 et 13) ils viennent au contact l'un E de la partie f de la fiche, l'autre H de la partie cylindrique φ de la fiche, ces deux parties communiquent respectivement avec les deux fils de la corde souple. La fiche du système comporte en B une bague conductrice isolée faisant communiquer, lors de son insertion, deux ressorts D et F à l'intérieur du jack; le ressort D étant rattaché au fil d'essai de la ligne et le ressort F à la pile d'essai π, l'interposition de la bague B porte au potentiel de

dans les nouvelles galeries du Conservatoire des Arts et Métiers.

la pile π le fil d'essai et les bagues antérieures G de tous les jacks de la ligne. La pile d'essai π fournit le signal d'occupation de la ligne (fig. 10) par un toc dans le téléphone de tout opérateur

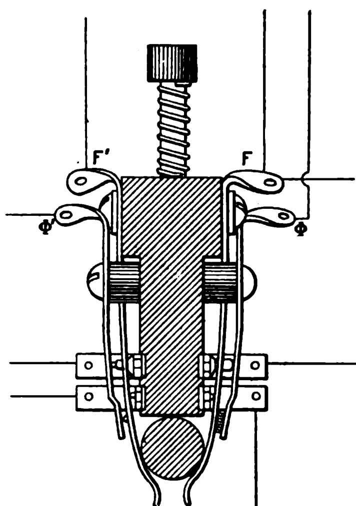


Fig. 14. — Clé d'écoute du commutateur multiple en dérivation.

touchant G avec l'extrémité A d'une fiche; elle donne en outre sur le circuit du second enroulement de l'annonciateur individuel A le courant qui sert à son relèvement automatique.

La figure 14 indique à simple vue la manœuvre simultanée des quatre ressorts FF'ΦΦ' de la clé d'écoute; de même la figure 16 pour la clé d'appel.

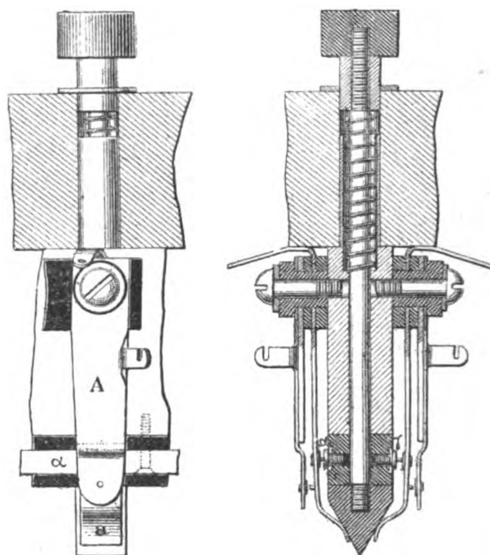


Fig. 16.—Clé d'appel du commutateur multiple en dérivation.

L'emploi des annonciateurs à relèvement automatique a fait introduire dans la disposition matérielle des tables du nouveau système une modification : les annonciateurs sont

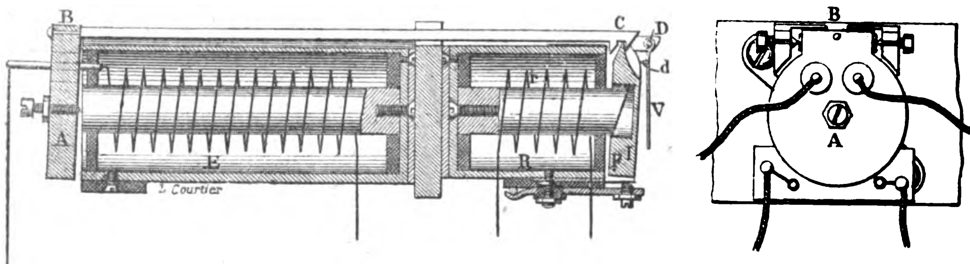


Fig. 15. — Annonciateur à relèvement automatique.

reportés à la partie supérieure et disposés en gradins fuyants. La manœuvre du nouveau type est simplifiée d'autant; mais le fonctionnement demeure le même dans son ensemble au point de vue de l'organisation du service et de la capacité des bureaux.

Les lecteurs de ce recueil ont eu dernièrement dans la publication de M. de la Touane (¹) un exposé excellent de tous les détails d'installation et d'exploitation actuels de la téléphonie, le bref résumé qui précède n'est donc rien de plus qu'un rappel d'ensemble du problème de la téléphonie envisagé dans sa généralité.

(¹) Voir pages 160-313-369-408.

III

LA CAPACITÉ ACTUELLE DU COMMUTATEUR TÉLÉPHONIQUE

Si l'on envisage au point de vue des faits acquis le problème de la téléphonie urbaine, on peut dire qu'il est absolument résolu au point de vue de la mise en communication immédiate de deux lignes quelconques d'une agglomération de 6.000 abonnés. Sans un optimisme exagéré, on peut admettre la possibilité de porter à 10.000 lignes urbaines le chiffre de l'agglomération desservie directement. C'est assurément un fort beau chiffre et un résultat appréciable.

Malheureusement pour desservir une ville comme Paris, le chiffre de 10.000 lignes ne représente pas même un téléphone pour 250 habitants ; de fait, le chiffre d'abonnés à envisager actuellement est déjà de 15.000. Pour desservir ces abonnés et ceux à prévoir dans un avenir immédiat, on espère, paraît-il, se tirer d'affaire avec plusieurs agglomérations de 6.000 abonnés, agglomérations communiquant entre elles par des lignes de renvoi...

La question de ces lignes a été tant étudiée à Paris, le pourcentage des relations entre les différents quartiers a dû faire l'objet de tant de statistiques qu'on a pu y découvrir des solutions imprévues.

N'ayant cependant à cette égard connaissance d'aucune révélation, nous demeurons sceptique et n'insistons pas, car la situation est compliquée sous plus d'un rapport.

« Depuis quelques jours, la Direction générale des Postes se voit dans la nécessité de refuser de consentir de nouveaux abonnements au téléphone. » Ainsi s'exprime, douloureuse, une récente circulaire officielle ; elle ajoute que « faute de nouvelles ressources, la Direction générale des Postes et Télégraphes se trouve donc dans l'impossibilité de multiplier les fils des réseaux téléphoniques et le nombre des appareils qui, pour la plupart, ont besoin d'être renouvelés ».

Ce curieux document porte la question sur le terrain financier, on peut l'y suivre sans sortir du domaine des choses techniques ; l'occasion semble excellente pour demander à quoi correspond dans la pratique de l'exploitation le principe du prix uniforme de l'abonnement.

Encore très onéreux pour les abonnés qui font du téléphone un usage restreint, ce prix est peut-être d'un ridicule bon marché pour beaucoup d'autres?

Sous prétexte que tous les habitants de Paris peuvent à leur loisir jouir de la voie publique, on n'a pas encore songé à décréter l'imposition égale pour tous.

Pour la jouissance du téléphone — qui n'est rien autre chose qu'une voie spéciale de communication — la contribution uniforme est admise en principe sans conteste.

Jusqu'ici d'ailleurs, aucune vue d'ensemble n'a servi de guide à la téléphonie, aucune impulsion dirigeante n'a présidé à son développement ; elle grandit quand même, et c'est l'essentiel.

VARTORE.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI
DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES
AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE (1)

CHAPITRE IV (*Suite*).

RÉFLEXION

30. *Réflexions sur les métaux ; disposition des expériences.* — Les expériences relatives à la réflexion des oscillations électriques sur les métaux sont conduites de la même manière que celles du paragraphe précédent. Toutefois, comme les particularités les plus intéressantes s'observent avec les grandes incidences, il est nécessaire de prendre les précautions nécessaires pour avoir des effets suf-

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 2 mars 1895, p.391.

fisamment distincts et pour éviter la cause d'erreur signalée au paragraphe 16 qui se manifeste principalement avec les grandes incidences.

Une lame plane dont le côté horizontal l a de 40 à 50 cm. est plus que suffisante pour effectuer toutes les expériences de réflexion, quand l'angle d'incidence ne dépasse pas 65° ou 70°. Pour $i = 70°$, la largeur $l \cos i$ du faisceau de radiations réfléchies par la lame est encore suffisante pour produire de vives étincelles dans le résonnateur, même lorsqu'on interpose un diaphragme muni d'une ouverture convenable afin d'éviter que les radiations directes de l'oscillateur ne parviennent au résonnateur. Pour les incidences plus grandes, pour celles, par exemple, qui dépassent 80 degrés, il faut, pour empêcher cette action directe, éloigner beaucoup les deux appareils l'un de l'autre; cela a pour effet, en raison du parallélisme imparfait des radiations et surtout en raison de la diffraction, de produire un très grand affaiblissement des étincelles qui finissent, en réalité, par disparaître.

Pour les grandes incidences, il faut donc augmenter la longueur horizontale de la lame. J'ai adopté la disposition expérimentale suivante :

Une lame de cuivre AB, longue de 306 cm. et haute de 44 cm. est placée sur le disque gradué mobile S de la figure 3, représenté en DE dans la figure 15, de façon que l'axe de rotation vertical C du disque se trouve à mi-longueur de la lame. L'oscillateur est placé à environ 150 cm. de C; il est orienté de façon que son axe de rotation passe par le centre de figure de la lame AB. Quant au résonnateur R, il est aussi placé de façon que son axe de rotation passe par le centre de la lame ; sa distance au point C est d'au moins 400 cm. lorsque l'angle d'incidence est assez grand. Naturellement, le disque DE n'est plus porté par le même banc que l'oscillateur, et le résonnateur n'est plus monté sur le bras mobile PQ de la figure 3 ; il est monté sur une table indépendante, de façon à se trouver toujours exactement sur le prolongement de ce bras qui sert alors seulement pour indiquer la position du résonnateur.

Avec les appareils ainsi disposés, on peut étudier commodément la réflexion sur le cuivre, même pour des incidences qui atteignent 82° ou 83° sans avoir à craindre une action directe quelconque de l'oscillateur sur le résonnateur.

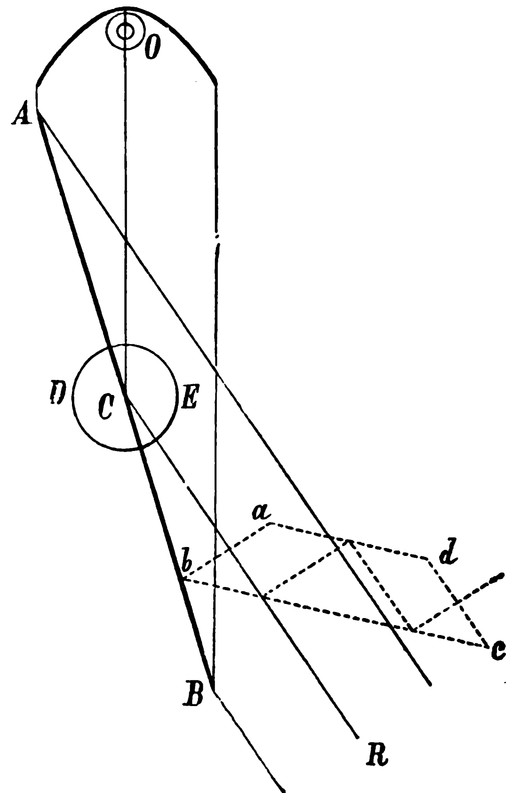


Fig. 15. — Réflexion sur les surfaces métalliques. Disposition expérimentale.

Comme je l'ai signalé au paragraphe 16, si le résonnateur peut être atteint directement par les radiations de l'oscillateur, celles-ci interfèrent avec les radiations réfléchies par la lame AB. Le résultat de cette interférence est de rendre les étincelles plus vives dans le résonnateur lorsque les vibrations de l'oscillateur sont horizontales, que quand elles sont verticales (§ 16). C'est pour cette raison, que j'ai trouvé d'abord des résultats qui étaient en opposition avec ceux que donnait la réflexion sur les diélectriques, et avec ceux qu'indiquait

la théorie électromagnétique de la lumière.

Voici maintenant les principales expériences effectuées.

31. *Expériences sur la réflexion métallique.* — *Expérience a.* — Se fait comme l'expérience (*a*) du paragraphe 29 et donne les mêmes résultats.

Expérience b. — Est semblable à l'expérience *b* du paragraphe 29; toutefois, avec un résonnateur neuf et assez sensible, on obtient toujours des étincelles. Donc, dans le cas du cuivre, on voit que le coefficient k ne s'annule pas, mais passe simplement par un minimum à l'incidence principale qui est d'environ 81°. Suivant Jamin [1], l'incidence principale varie, pour le cuivre, de 67° à 71° environ, en allant des rayons violets aux rayons rouges. Il est naturel que, pour les ondes électriques, on trouve une valeur plus élevée.

Expérience c. — Cette expérience est aussi analogue à l'expérience (*c*) du paragraphe 29; c'est-à-dire qu'on constate que, pour obtenir le plus d'étincelles dans le résonnateur, lorsque les vibrations incidentes sont inclinées sur la verticale d'un angle α (fig. 14), il faut l'incliner d'un angle β à partir de la verticale, vers la droite pour les incidences plus petites que l'incidence principale, et vers la gauche pour les incidences plus grandes que cette dernière; dans tous les cas, on constate que l'on a, en valeur absolue, $\beta < \alpha$.

On constate cependant que les vibrations lumineuses réfléchies par un métal sont elliptiques, puisque la différence de phase φ, qui s'établit entre les deux composantes des vibrations incidentes prises suivant le plan de réflexion et perpendiculairement à ce plan, croît graduellement de o à π lorsque l'angle d'incidence i croît de o degré à 90 degrés; elle assume la valeur $\frac{\pi}{2}$ pour l'incidence principale; dans le cas de la réflexion sur un corps transparent, la variation de phase φ s'accomplit rapidement de o à π, pour les valeurs de i très voisines de l'angle de polarisation. S'il en était de même dans les phénomènes électromagnétiques, l'azimuth du résonnateur pour lequel les étincelles sont maxima, ne serait autre que celui qui correspond au grand axe des vibrations elliptiques réfléchies.

Mais il est facile de démontrer que, même dans le cas de la réflexion de la lumière sur un métal, quand on prend pour β l'angle que le grand axe des vibrations elliptiques réfléchies fait avec la perpendiculaire au plan de réflexion, il subsiste entre β et α les mêmes relations que dans le cas de la réflexion sur un corps transparent, c'est-à-dire que :

1° β est négatif ou positif en signe, suivant que l'angle d'incidence est moindre ou plus grand que l'incidence principale;

2° en valeur absolue, on a toujours $\beta < \alpha$.

En fait, $\sin\frac{2\pi t}{T}$ étant la vibration rectiligne incidente VW (fig. 14), celle-ci correspond aux deux composantes

$$x = -\cos\alpha\sin\frac{2\pi t}{T}, \quad y = \sin\alpha\sin\frac{2\pi t}{T},$$

prises suivant AX et Ay; ces composantes deviennent respectivement, pour le rayon réfléchi,

$$x_1 = k\cos\alpha\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right) \text{ [1]}$$

et

$$y_1 = h\sin\alpha\sin\frac{2\pi t}{T},$$

en représentant par k et h les coefficients de réflexion et par φ la différence de phase produite par la réflexion.

En éliminant $\frac{2\pi t}{T}$ entre les deux dernières équations, on obtient l'équation de la trajectoire rectiligne et de celle-ci on peut déduire et le rapport $\frac{a}{b}$ des demi-axes de l'ellipse et

(1) JAMIN. *Ann. de Chim. et de Phys.* [3], t. XXII, p. 311.

(1) x est positif en raison de la manière dont est prise la direction positive des axes.

l'angle β (positif ou négatif, mais toujours plus petit que 90°) qu'un des axes b fait avec l'axe des y. Après réductions, et en posant pour abréger

$$n = \frac{k}{h} \quad \text{et} \quad r = \sqrt{(1 - n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2 + 4n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2 \varphi},$$

on trouve :

$$\frac{a^2}{b^2} = \frac{1 + n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \pm r}{1 + n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \mp r}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1 - n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \pm r}{2n \operatorname{tg} \alpha \cos \alpha \psi}$$

si l'on prend pour r le signe inférieur, on a $b > a$, et β devient l'angle fait avec l'axe des y par le grand axe de l'ellipse ; dans ce cas,

$$\operatorname{tg} \beta = -\frac{r - 1 + n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2n \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi}.$$

En tenant compte de ce que

$$r > 1 - n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha,$$

on voit aussi que tg β, et partant β, est négatif si $\varphi < \frac{\pi}{2}$ et positif dans le cas contraire. La première proposition est ainsi démontrée.

Pour démontrer la seconde, prenons la valeur absolue de tg β, qui est, dans tous les cas,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r - 1 + n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2n\rho \operatorname{tg} \alpha},$$

où ρ (compris entre 0 et 1) est la valeur absolue de cos φ ; ou encore

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{\sqrt{p^2 + 1} + p}$$

en posant pour abréger

$$p = \frac{1 - n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2n\rho \operatorname{tg} \alpha}.$$

Si l'on suppose $\rho = 1$, p devient

$$\frac{1 - n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2n \operatorname{tg} \alpha},$$

et tg β devient égal à $n \operatorname{tg} \alpha$; tandis que pour $\rho < 1$, p a une valeur plus grande et tg β une valeur moindre que pour $\rho = 1$. Donc, avec $\operatorname{tg} \beta < n \operatorname{tg} \alpha$; comme on a aussi $n < 1$, à plus forte raison, on a

$$\operatorname{tg} \beta < \operatorname{tg} \alpha.$$

Par conséquent, β est plus petit que α. L'expérience (c) est donc parfaitement analogue à l'expérience optique correspondante.

Expérience d. — Cette expérience est en tout point semblable à l'expérience (d) du paragraphe 29.

Expérience e. — Identique à l'expérience correspondante effectuée avec un diélectrique. Elle ne réussit bien que quand, en employant un long réflecteur, et en tenant le résonnateur assez éloigné, ce dernier ne peut être influencé directement par l'oscillateur, même aux grandes incidences. Si cette condition n'est pas satisfaite, le résultat est altéré par un effet d'interférence, comme nous l'avons déjà expliqué.

32. *Oscillations elliptiques et circulaires.* — Avec la disposition expérimentale de la figure 14, on peut mettre en évidence la polarisation elliptique des vibrations réfléchies, ce qui complète l'analogie avec les phénomènes optiques.

Il est bon de donner à α une valeur très voisine de 45 degrés, de choisir un angle d'incidence d'environ 81 degrés, c'est-à-dire assez voisin de l'angle principal, et d'employer un résonnateur neuf et assez sensible ; ce dernier ne sera mis en place dans son réflecteur qu'après avoir orienté l'appareil en employant un autre résonnateur, dans un azimuth qui correspond à peu près au minimum des étincelles. Cette précaution a pour but d'éviter que, dans le résonnateur neuf, il ne se produise de fortes étincelles qui diminueraient rapidement, sans nécessité, sa sensibilité.

On reconnaît ainsi que les étincelles, faibles ou fortes, se manifestent dans le résonnateur quelle que soit son orientation, ce qui n'aurait pas lieu si l'oscillation qui l'atteint était rectiligne (§ 9. d). L'intensité de l'effet varie si l'on peut tourner le résonnateur autour de son

axe. Dans un tour complet, on constate deux maxima et deux minima dont les orientations sont rectangulaires entre elles. Ces orientations sont celles des axes de la vibration elliptique; si l'on donne à α une valeur convenable, plus grande que 45 degrés, environ 59 degrés dans le cas de mes réflecteurs, la vivacité des étincelles dans le résonnateur devient sensiblement constante, quelle que soit l'orientation du résonnateur, lorsque l'incidence i est l'incidence principale. Dans ce cas, la vibration réfléchie est devenue circulaire. Il est facile de reconnaître ensuite qu'une telle vibration est affaiblie.

C'est ainsi que j'ai pu obtenir pour la première fois un rayon de force électrique à vibration circulaire. J'indiquerai plus loin comment on peut obtenir ces rayons d'une façon plus commode, en recourant à la réflexion totale (§ 39) (¹).

Avec un des prismes à base de parallélogramme ou de trapèze, qui seront décrits dans ce paragraphe, j'ai pu vérifier que le rayon réfléchi dans la dernière expérience est circulaire.

Le rayon réfléchi, au lieu d'atteindre directement le résonnateur, entre normalement par une des faces *a b* du prisme de paraffine à base trapézoïdale *a b c d*. Ce prisme est l'analogue des parallélipipèdes bien connus de Fresnel, qui, en certaines circonstances, peuvent transformer un rayon à vibration rectiligne en un rayon à vibration circulaire *et vice versa*. Après trois réflexions totales internes, le rayon sort normalement de la face *c, d*, et alors seulement atteint le résonnateur. En faisant tourner celui-ci, on reconnaît que le rayon se comporte comme s'il provenait directement d'un oscillateur incliné à 45°, sur la verticale vers la droite, puisque les étincelles dans le résonnateur sont maxima pour $B = -45°$ et nulles pour $B = +45°$. C'est bien ce qu'on doit observer, si le rayon qui entre dans la paraffine est réellement à vibration circulaire.

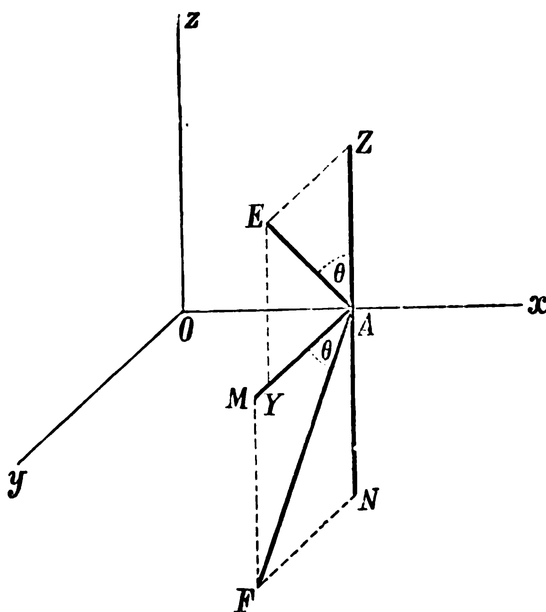


Fig. 16.

Avec la dénomination choisie des rayons de force électrique à vibrations elliptique ou circulaire, je suis parvenu simplement à l'analogie avec les phénomènes optiques. Cependant, tandis que dans la théorie de Fresnel, on admet des mouvements à trajectoire elliptique ou circulaire, dans la théorie électromagnétique de la lumière, on n'a pas de mouvements de ce genre, mais seulement des variations périodiques d'intensité et de direction de la force électrique et magnétique.

Pour plus de clarté, imaginons un diélectrique parcouru par des ondes électriques planes dans la direction de l'axe des x (fig. 16) et supposons d'abord que les vibrations élec-

(¹) L'expérience qui permet d'obtenir la polarisation circulaire ou elliptique des rayons de force électrique, en recourant à la réflexion métallique, a été publiée dans la troisième note citée au commencement de cette étude. L'expérience du paragraphe 39, au moyen de laquelle on obtient le même résultat en recourant à la réflexion totale, fut publiée dans la quatrième des notes précitées (dans le fascicule des *Rendicconti della R. Acc. dei Lincei*, contenant les communications faites à cette Société savante jusqu'au 17 septembre 1893). Quelques mois après, c'est-à-dire dans une note datée du 21 juin 1894, M. Zehnder indiqua la façon d'obtenir la polarisation elliptique au moyen de la réflexion sur deux réseaux croisés (*Berichte der Naturforschenden gesellschaft zu Freiburg*, 6, IX, h. 2)

triques soient directes suivant l'axe des y, c'est-à-dire que nous ayons une radiation polarisée dans le plan $z\,O\,x$, et que les vibrations mêmes soient pendulaires. La force électrique λ en un point A, à la distance x de l'origine, sera, en prenant pour unité son maximum d'intensité,

$$Y = \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{V}\right),$$

puisqu'on doit trouver la même valeur, soit en augmentant la distance x d'une quantité a, soit en diminuant t de $\frac{a}{V}$, v étant la vitesse de propagation.

Si dans les équations de Hertz qui sont :

$$A\varepsilon \frac{dX}{dt} = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy},$$

$$A\mu \frac{dL}{dt} = \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz},$$

et les quatre autres analogues, on pose

$$x = O, \quad Y = \sin \theta, \quad Z = O,$$

on trouve

$$L = O, \quad M = O, \quad \sqrt{\mu}\, N = -\sqrt{\varepsilon} \sin \theta,$$

où, pour abréger, on pose

$$\theta = \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{V}\right).$$

La force magnétique N est dirigée suivant la partie négative de l'axe des Z, comme l'indique la figure.

A un instant quelconque, les deux forces Y et N ont la même valeur en tous les points du plan passant par A et perpendiculaire à Ox, comme en tous les plans parallèles qui le précèdent ou le suivent à des intervalles égaux à $T\ V$, et égaux aussi à la longueur d'onde. Dans le même instant, entre chacun de ces intervalles, les deux forces ont des valeurs différentes de lieu en lieu, suivant les ordonnées d'une sinusoïde ayant Ox pour axe. Pour connaître les conditions dans lesquelles se trouve le diélectrique dans les instants successifs, il suffit d'imaginer que la sinusoïde se déplace dans la direction Ox avec la vitesse V.

De même, les équations

$$x = O, \quad Y = O, \quad Z = \cos \theta,$$

$$L = O, \quad \sqrt{\mu}\, M = \sqrt{\varepsilon} \cos \theta, \quad N = O,$$

représenteront une onde à vibration électrique dirigée suivant Oz, qui se propage dans la direction Ox, mais qui a sur la précédente un retard de phase d'un quart d'onde.

En faisant coexister les deux systèmes, c'est-à-dire en prenant

$$x = O, \quad Y = \sin \theta, \quad Z = \cos \theta,$$

$$L = O, \quad \sqrt{\mu}\, M = \sqrt{\varepsilon} \cos \theta, \quad \sqrt{\mu}\, N = -\sqrt{\varepsilon} \sin \theta,$$

on aura une onde à vibration circulaire, c'est-à-dire une onde analogue à celle qui, en optique, reçoit la même dénomination. En composant les forces électriques Y et Z en une force unique E, et aussi les forces magnétiques M et N en une seule force F, il est évident qu'on aura

$$E = 1, \quad \sqrt{\mu}\, F = \sqrt{\varepsilon}.$$

Donc, les deux forces ont, dans ce cas, une intensité constante. Leur direction seule varie. En fait, E fait avec AZ et F fait avec AY, un angle

$$\theta = \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{V}\right).$$

Ceci posé, voici comment on peut imaginer l'état du diélectrique dans lequel se propage l'onde à vibration circulaire. A un instant donné, dans les différents points d'un plan, passant par A, par exemple, et perpendiculaire à la direction de propagation, les deux forces E et F rectangulaires entre elles, ont une certaine direction et ont la même direction et la même intensité dans tous les plans parallèles au premier et distants de celui-ci d'un multiple entier de TV, c'est-à-dire d'une longueur d'onde. En effet, lorsqu'on augmente x d'un multiple entier de TV, θ varie d'un nombre entier de fois 2π. Dans les plans intermédiaires, les intensités sont encore les mêmes, mais la direction des forces est différente, les valeurs de θ étant proportionnelles à x. Si donc, pour chaque point A de la droite

Ox on imagine une droite AE qui représente la force électrique, les extrémités E des droites ainsi tracées formeront une hélice de pas égal à la longueur d'onde. Une hélice semblable, mais décalée angulairement de 90° autour de l'axe Ox, donnera une idée de la distribution de la force magnétique F à l'instant considéré.

Si maintenant, nous voulons savoir comment les deux forces varient avec le temps dans le diélectrique, il suffit évidemment de supposer que les deux hélices ont un mouvement de translation de vitesse V dans la direction Ox.

On peut donc dire qu'un rayon de force électrique à vibration circulaire, constitue un champ tournant, comme celui que Ferraris a étudié, à la fois électrique et magnétique, et dans lequel, cependant, à un instant quelconque, la direction des forces est différente dans les différents points de l'axe, avec une loi hélicoïdale. On peut, en résumé, considérer un rayon à vibration circulaire comme un champ tournant qui se propage dans la direction de son axe.

Enfin, il ne sera pas difficile de concevoir un rayon elliptique. Dans ce cas, l'intensité et la direction des deux forces varieront avec le temps et le lieu considérés.

Admettons que l'on fasse coexister deux ondes planes qui se propagent ensemble dans la direction Ox (fig. 16), que sur l'une d'elles, la force électrique, soit parallèle à Oy et exprimée par $a \sin \theta$, et que l'autre soit parallèle à Oz et exprimée par $b \cos \theta$. Les composantes des forces électrique et magnétique sur l'onde résultante qui correspondra à une onde lumineuse polarisée elliptiquement, seront :

$$x = 0, \quad Y = a \sin \theta, \quad Z = b \cos \theta,$$

$$L = 0, \quad \sqrt{\mu}\, M = \sqrt{\varepsilon}\, b \cos \theta, \quad \sqrt{\mu}\, N = -\sqrt{\varepsilon}\, a \sin \theta.$$

Considérons d'abord les composantes X, Y, Z, de la force électrique

$$E = \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}.$$

Elles ne sont autres que les coordonnées de la position occupée par la particule d'éther vibrante de la théorie de Fresnel (en admettant que a et b sont les amplitudes relatives des deux vibrations rectilignes composantes), pour laquelle la force électrique E sera représentée en grandeur et en direction par la droite qui contient la même particule dans sa position d'équilibre. Maintenant, d'après la théorie, la particule parcourt une ellipse placée dans le plan de l'onde et d'équation

$$\frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 :$$

ce mouvement elliptique est la projection d'un mouvement circulaire uniforme. On peut donc décrire la manière dont varie avec le temps la force électrique E en un point A du diélectrique de la façon suivante.

Imaginons un plan P normal à Ox conduit par A et par conséquent, normal à l'onde ; et aussi un autre plan orienté de façon qu'une circonférence de centre A qui y est tracée ait pour projection sur le plan P l'ellipse $\frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1$. Evidemment, si l'on a $a > b$, ce plan passera par l'intersection du plan P et du plan yOx et si l'on a $b > a$, il passera par l'intersection du plan P et du plan zOx ; le rayon de la circonférence sera égal à a dans le premier cas et à b dans le second. Si maintenant on suppose qu'un rayon de cette circonférence tourne uniformément autour du centre A de façon à faire un tour complet dans le temps T, sa projection sur le plan P représentera continuellement en grandeur et en direction la force électrique E dans le point A.

Pour un même instant, la force E a la même valeur et la même direction non seulement dans tous les points du plan P, mais encore dans tous les points des plans parallèles à P et distants de celui-ci d'un multiple entier de la longueur d'onde, tandis que, pour les plans intermédiaires, elle aura des grandeurs et des directions différentes, déterminées par les valeurs différentes, en proportion de la distance du plan P, de l'angle que le rayon mobile fait avec une direction fixe prise dans le plan de la circonférence.

Par conséquent, si pour tous les points d'une droite normale aux ondes, Ox, par exemple, on suppose que les forces électriques qui, à un moment donné, y agissent, sont représentées en grandeur et en direction par un certain nombre de droites, les extrémités de ces droites décriront une sorte d'hélice, placée sur la surface cylindrique qui a pour directrice l'ellipse $\frac{y^2}{a^2}+\frac{Z^2}{b^2}=1$, et pour génératrices des parallèles à Ox. Si ensuite on suppose que cette courbe se déplace uniformément dans la direction Ox de la propagation des ondes avec la direction V, elle servira à donner une idée de la force E dans les différents points de la droite Ox (et par conséquent aussi dans tous les points des plans normaux à Ox), dans les instants successifs du temps.

Une fois la connaissance complète de la force électrique E acquise de cette façon, il sera facile de concevoir aussi la distribution dans l'espace et dans le temps de la force magnétique F, en se souvenant que, des six équations écrites plus haut, on déduit facilement que F est perpendiculaire à E et que $\sqrt{\mu}\,F=\sqrt{\varepsilon}\,E$.

Les explications déjà données pour rendre compte de la distribution des deux forces dans le diélectrique pour le cas des vibrations rectilignes et pour celui des vibrations circulaires, peuvent naturellement se déduire, comme cas particuliers, de l'explication qui vient d'être donnée pour le cas des vibrations elliptiques.

Les tentatives que j'ai faites pour obtenir, soit par un rayon de force électrique à vibration circulaire, soit par un rayon lumineux polarisé circulairement, les effets connus des champs tournants ne m'ont pas encore donné des résultats satisfaisants, même en employant des corps délicatement suspendus à des fils de quartz excessivement fins.

35. *Réflexion sur le bois.* — Ayant constaté, comme il sera dit plus loin, que le bois en général, et le bois de sapin en particulier (parmi ceux que j'avais sous la main), transmet les vibrations électriques avec des intensités différentes suivant que ses fibres sont parallèles ou perpendiculaires à la direction des vibrations électriques, j'ai pensé que, suivant toute probabilité, des différences analogues se manifesteraient dans la réflexion des ondes sur les mêmes substances.

Pour ces expériences, il faut employer des blocs de sapin de forme parallélipipédique dont deux faces sont perpendiculaires aux fibres. Ceux que j'ai employés avaient les dimensions suivantes : deux des faces, parallèles à la direction des fibres, étaient des carrés de 40 cm. de côté ; les deux autres faces avaient une longueur de 5,7 cm., ou 11,4 cm. La réflexion s'effectue sur une des grandes faces ; le bloc repose, par une de ses petites faces, sur le disque tournant de la figure 3 ; suivant la face sur laquelle le bois repose, les fibres sont ou verticales ou horizontales, c'est-à-dire perpendiculaires ou parallèles au plan de réflexion.

Au moyen de la méthode (§ 9, *b*), c'est-à-dire en prenant l'angle dont il faut tourner le résonnateur pour éteindre les étincelles, on reconnaît que l'intensité de la radiation réfléchie dépend non seulement de la valeur i de l'angle d'incidence et de l'azimuth α (fig. 14) de la vibration incidente, mais encore de la direction des fibres du bois. Voici, par exemple, le résultat d'une série d'expériences faites avec un bloc de 11,4 cm. d'épaisseur et avec une incidence i de 45°.

Les vibrations incidentes étaient d'abord parallèles au plan de réflexion, c'est-à-dire que l'oscillateur avait son axe horizontal. Pour éteindre les étincelles, il fallait tourner le résonnateur de 13° ou de 32°, suivant que les fibres du bois étaient verticales ou horizontales, à partir de la direction horizontale du résonnateur lui-même.

Le bois réfléchit donc mieux, dans ce cas, lorsque ses fibres sont horizontales que quand elles sont verticales ; le rapport des intensités dans les deux cas est

$$\frac{\cos 13^\circ}{\cos 32^\circ}=1,15$$

Je fis tourner ensuite l'oscillateur de 90° autour de son axe de rotation, de façon que les vibrations incidentes fussent verticales, et, par conséquent, perpendiculaires au plan de réflexion; il fallut alors pour éteindre les étincelles tourner le résonnateur de 74° à partir de la verticale quand les fibres du bois étaient verticales, et de 68° quand elles étaient horizontales.

Dans ce cas, le bois réfléchit donc mieux lorsque ses fibres sont verticales. Le rapport des intensités dans les deux cas est de 1,36; le phénomène est donc, non seulement inverse, mais encore plus marqué, relativement au cas précédent.

Un réseau de fils métalliques parallèles se comporte comme le bois, sauf que la radiation réfléchie est nulle dans le cas où, avec le bois, elle a simplement une intensité moindre. Il semble donc que l'action spéciale du bois est due à ce que sa conductibilité est beaucoup plus grande dans le sens des fibres que dans la direction perpendiculaire, comme l'a élégamment démontré Villari [1].

Le phénomène ne change pas sensiblement quand on modifie la valeur de i; seulement, il semble que l'influence de l'orientation des fibres diminue lorsque i augmente.

Du moment que la disposition horizontale des fibres du bois favorise la réflexion des vibrations horizontales et que leur disposition verticale favorise la réflexion des vibrations verticales, l'orientation des vibrations réfléchies doit dépendre de la direction des fibres, si la vibration incidente est oblique. C'est en effet ce qu'on observe.

Par exemple, avec $i = 45°$ et $\alpha = 45°$, c'est-à-dire avec des vibrations incidentes inclinées à 45° vers la gauche, l'azimuth β de la vibration réfléchie était de $-10°$ avec le bois à fibres verticales et de $-28°$ avec le bois à fibres horizontales.

Avec $i = 60°$, on a, dans les deux cas, respectivement $+25°$ et $+34°$. Le signe $+$ fait voir qu'avec $i = 60°$ l'incidence principale était dépassée, Mais indépendamment du signe, β était toujours plus petit dans le cas des fibres verticales.

Dans le chapitre VI, nous examinerons les phénomènes produits par le bois dans la transmission des vibrations électriques.

34. *Autres expériences de réflexion.* — Nous signalerons rapidement quelques autres expériences de réflexion dont quelques-unes mettent en lumière l'action du verre dans la réflexion des ondes électriques, action qui est

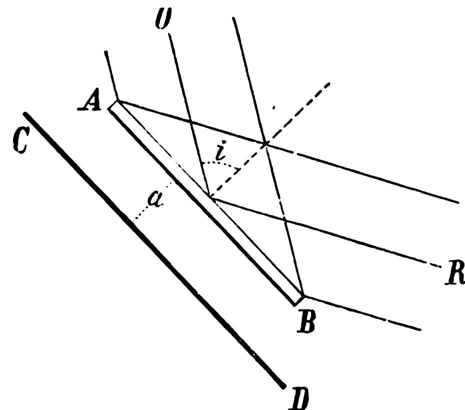


Fig. 17. — Réflexion sur une lame de verre armée.

différente de celle des autres diélectriques, comme la paraffine et le verre (§ 20).

On fait réfléchir le faisceau des radiations qui émanent de l'oscillateur O sur une lame à faces parallèles AB (fig. 17), et on les reçoit dans le résonnateur R muni de son réflecteur. Si la lame AB est assez petite, épaisse, par exemple, de 1 cm., et si elle est formée de paraffine ou de soufre, le faisceau réfléchi est assez peu intense, particulièrement dans le cas où les vibrations incidentes sont parallèles au plan de réflexion.

On ajoute maintenant une lame métallique CD parallèle à AB et distante de celle-ci d'une longueur variable a.

L'effet dans le résonnateur sera, en général, sensiblement augmenté, tant si les vibrations incidentes sont perpendiculaires au plan de réflexion que si elles lui sont parallèles; l'action est plus intense dans le second cas que dans

[1] *Pogg Ann.* V, 133, p. 400.

le premier. Ce résultat était facile à prévoir, puisque les radiations qui traversent la lame AB se réfléchissent sur la lame métallique et, après avoir traversé de nouveau le diélectrique, atteignent le résonnateur.

Cependant, on peut noter que, lorsque les vibrations incidentes sont perpendiculaires au plan de réflexion, l'effet sur le résonnateur est plus grand, quand la lame CD n'est pas en contact avec la lame AB, mais bien quand elle en est à une certaine distance.

En répétant les expériences avec une lame de verre à miroir épaisse de 0,7 cm., les résultats sont tout différents.

Dans le cas des vibrations incidentes parallèles au plan de réflexion, la lame métallique produit ici aussi un accroissement notable des étincelles dans le résonnateur; mais cet effet est maximum lorsque le métal touche le verre. Si on sépare les deux lames, l'effet diminue jusqu'à un minimum pour augmenter à nouveau jusqu'à un maximum, lorsqu'on continue à augmenter la distance *a*. Avec de petites incidences, on observe plusieurs minima et maxima successifs.

Si les vibrations sur le rayon incident sont perpendiculaires au plan d'incidence, l'action du verre est encore plus différente de celle de la paraffine et du soufre. En effet, le contact des deux lames AB et CD produit une notable diminution des étincelles dans le résonnateur, au lieu de produire une augmentation.

L'explication de ces phénomènes exigerait des recherches expérimentales complémentaires; il semble cependant que la façon particulière dont le verre à miroir se comporte dans cette expérience est liée aux autres singularités présentées par ce corps (§ 20 et 40).

Une dernière expérience de réflexion que je décrirai ici est la suivante :

On place près de l'oscillateur l'extrémité ouverte d'un long tube de fer à étuve, placé horizontalement; on met le résonnateur en face de l'autre extrémité du tube et l'on voit dans celui-ci de vives étincelles, même si la longueur du tube métallique est très grande. Les étincelles disparaissent si l'on met dans le tube un disque métallique transversal, même si les bords n'en touchent pas les parois; d'un autre côté, l'effet ne change pas si le tube est séparé en plusieurs parties. L'effet qui s'observe dans le résonnateur est donc dû aux réflexions successives des ondulations sur les parois internes du tube.

Avec les appareils II, l'effet est très intense avec un tube aussi long que le permet le local disponible. Avec les appareils III, on voit encore les étincelles même quand le tube métallique est trois ou quatre fois plus long que la distance maxima à laquelle les étincelles disparaissent ordinairement.

Il est donc probable qu'avec les appareils plus grands, on pourrait conduire les radiations à de très grandes distances dans un tube métallique.

Le tube peut ne pas être rectiligne; il peut être formé, par exemple, de tronçons rectilignes réunis à angles très obtus.

L'expérience ressemble à une autre que nous décrirons plus loin et dans laquelle la réflexion est totale et a lieu dans un diélectrique solide (§ 37).

CHAPITRE IV

RÉFRACTION ET RÉFLEXION TOTALES

35. *Prisme, lame à faces parallèles, lentille.* — L'expérience classique de Hertz, avec un prisme d'asphalte, peut être facilement reproduite avec les appareils décrits dans la première partie de ce mémoire; mais, comme la longueur d'onde est, dans ce cas, beaucoup plus petite que dans l'expérience de Hertz, on peut employer des prismes de dimensions beaucoup plus petites. Par exemple, avec les appareils III, le prisme peut être grand à peu près comme ceux qu'on emploie en optique.

Le prisme se place sur le plateau tournant S (fig. 3), de façon que la face par où pénètrent les radiations passe par l'axe de rotation du disque même, tandis que le résonnateur se place sur le bras mobile TU. La graduation du disque S fait connaître l'angle d'incidence *i*

des radiations sur le prisme et la graduation tracée sur la tablette PQ donne l'angle de déviation d. Si l'on représente par A l'angle réfringent du prisme, on peut calculer l'indice de réfraction n de la substance dont il est formé, au moyen de la formule

$$n^2 \sin^2 A = \sin^2 i + \sin^2(d + A - i) + 2 \sin i \sin A \sin (d + A - i)$$

qui s'établit facilement par des considérations géométriques simples.

Pour calculer n, il faut donc connaître les angles A, i, d. Le premier se calcule en mesurant les côtés de la section du prisme; on a, en général $A = 30°$. Le second et le troisième se lisent, comme nous l'avons dit, sur les graduations, après avoir déplacé le bras mobile qui soutient le résonnateur jusqu'à ce que les étincelles y prennent leur vivacité maxima (§ 9, *c*).

Avec le prisme de soufre ou de paraffine, j'ai trouvé pour n des valeurs peu différentes de celles que j'ai obtenues par la méthode d'interférence (§ 15). En répétant la mesure avec des prismes, les valeurs de n oscillent entre celles déjà adoptées. Un prisme de poix grecque a donné la valeur $n = 1,6$.

Avec un même prisme, je n'ai trouvé aucun indice de dispersion, en employant tour à tour les appareils I, II et III, c'est-à-dire avec des ondes longues de 20 cm. à 2,6 cm. Les petites différences que j'ai pu observer étaient certainement beaucoup plus faibles que les erreurs probables de mesure.

Un bloc de paraffine à faces parallèles épais de 20 cm. environ, doit déplacer parallèlement à elles-mêmes les radiations électriques qui le traversent sous une incidence de 45°, d'environ 6 cm., en admettant la valeur 1,43 pour l'indice de réfraction de cette substance. On peut mettre ce déplacement en évidence par une expérience directe : on dispose le résonnateur exactement en face de l'oscillateur, puis on interpose la paraffine; on note alors un léger affaiblissement des étincelles; elles reprennent leur intensité première si l'on déplace latéralement le résonnateur de 6 cm., dans la direction prévue.

Lodge et Howard recueillaient les radiations sur une lentille en poix cylindrique plan-convexe et ils observèrent quelques traces de convergence engendrée par la lentille. Une lentille de même forme en paraffine m'a donné exactement les mêmes résultats ; seulement, avec les appareils que j'employais, les dimensions de la lentille pouvaient être de beaucoup réduites. Pour qu'une telle lentille concentre exactement dans la ligne focale les radiations parallèles qui arrivent normalement sur sa face plane, il faut que la section transversale de la face cylindrique soit un arc d'hyperbole dont l'excentricité soit égale à l'indice de réfraction de la substance dont la lentille est formée. Dans ce cas, les radiations convergent dans une ligne droite parallèle aux génératrices de la face cylindrique et passant par le foyer de l'hyperbole qui est le plus éloigné de ladite face.

J'ai obtenu des effets semblables avec des lentilles plan-convexes de paraffine et de soufre ; elles n'étaient pas cylindriques, mais de révolution. La courbe méridienne est un arc d'hyperbole; mais j'ai reconnu que, pratiquement elle se comporte de la même façon exactement qu'une lentille dont la face convexe est sphérique. De la sorte, l'expérience ressemble beaucoup à l'expérience optique correspondante. Une lentille plan-convexe de 32 cm. de diamètre, épaisse d'environ 7 cm. en son milieu et de 50 cm. de distance focale produit un effet assez satisfaisant. En effet, un résonnateur sans réflecteur et tenu à la main, qu'on déplace derrière la lentille s'illumine quand il est dans le cône qui a pour base la lentille et pour sommet le foyer. On reconnaît aussi l'existence du cône divergent qui prolonge le premier au delà du foyer. La vivacité des étincelles dans le résonnateur, lorsqu'il est placé près du foyer, est visiblement plus grande que quand il est plus voisin de la lentille. Cependant, les étincelles ne cessent pas subitement lorsqu'on le retire du cône, ce qui est dû certainement à la diffraction.

36. *Polarisation par réfraction; lames superposées.* — Comme dans le cas de la

réflexion, et même dans celui de la réfraction, les radiations électriques se comportent naturellement comme la lumière polarisée. On reconnaît que la force électrique est perpendiculaire au plan de polarisation.

Comme dans le cas de la lumière, une simple lame à faces parallèles donne des phénomènes peu marqués, quoique visibles. Ainsi, il suffit de placer entre l'oscillateur et le résonnateur une lame diélectrique (qu'on pose verticalement sur le disque S de la figure 3), et de l'incliner en tournant S, de façon que les radiations la rencontrent obliquement, pour reconnaître que les radiations transmises sont plus intenses, lorsque les vibrations incidentes sont parallèles au plan de réfraction que quand elles sont perpendiculaires à ce plan. On reconnaît ainsi que les vibrations subissent une rotation; le long du rayon incident, elles ont une direction intermédiaire aux deux directions définies tout à l'heure.

Les effets augmentent, comme on l'a déjà remarqué en optique, lorsque, au lieu d'une, on place entre l'oscillateur et le résonnateur plusieurs lames diélectriques parallèles. On peut nommer un semblable système une *pile de lames*, puisqu'il est analogue aux piles de lames, de verre ou de mica, qu'on emploie comme polariseur ou analyseur dans les expériences d'optique.

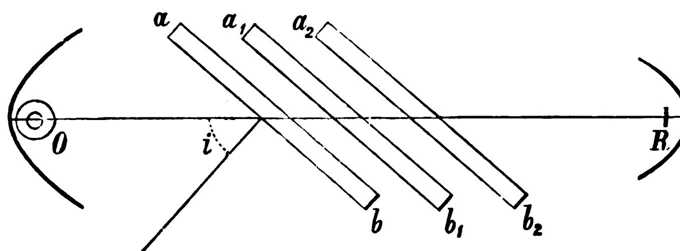


Fig. 18. — Polarisation par réfraction. Pile de lames.

Trois lames de paraffine donnent déjà des résultats évidents. Celles que j'ai employées sont longues de 50 cm., suivant leur côté horizontal, hautes de 20 cm. et épaisses de 5 cm.; elles sont maintenues par des petits cadres en bois. La figure 18 indique comment les trois lames $a\ b$, $a_1\ b_1$, $a_2\ b_2$, doivent être placées entre l'oscillateur O et le résonnateur R, de façon à être verticales et parallèles entre elles. L'angle d'incidence i doit être égal à 55°, valeur qui est sensiblement l'angle de polarisation pour la paraffine.

Si l'oscillateur est disposé comme dans la figure, c'est-à-dire si les vibrations électriques sont perpendiculaires au plan de réfraction, les étincelles en R sont assez faibles; elles deviennent très vives si l'on fait tourner à la fois O et R de 90°, autour de leurs axes de rotation, qui sont dans la direction O R, c'est-à-dire si l'on rend les vibrations parallèles au plan de réfraction.

On peut modifier l'expérience en laissant l'oscillateur fixe, dans une position intermédiaire aux deux orientations prises dans le cas précédent, soit à 45°. En plaçant alors le résonnateur verticalement ou horizontalement, on constate que les étincelles sont beaucoup plus vives dans le second cas que dans le premier. Maintenant, comme dans la première position du résonnateur on n'observe que l'effet de la composante verticale de la vibration incidente, et dans le second que celui de la composante horizontale, et comme ces deux composantes sont égales, cette expérience est équivalente à la première décrite.

Maintenons l'oscillateur à 45°; et cherchons avec le résonnateur l'azimuth des vibrations qui émergent des lames; nous reconnaîtrons qu'il n'est pas à 45° avec le plan de réfraction, mais qu'il fait avec celui-ci un angle moindre. Les vibrations se rapprochent donc du plan de réfraction, préci-

sément comme dans l'expérience optique.

Si l'on emploie sept ou huit lames au lieu de trois les vibrations perpendiculaires au plan de réfraction sont éteintes presque complètement, puisque les étincelles disparaissent totalement dans le résonnateur, même quand il est de la plus grande sensibilité possible.

(*A suivre.*)

A. Righi,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Usines d'électricité à gaz pauvre, en Suisse, par M. Weissenbach-Griffin.

Les moteurs à gaz pauvre du système Dowson se sont surtout beaucoup répandus en Angleterre. Quoique le prix de l'anthracite y soit plus du double du prix moyen de la houille pour foyers industriels, on rencontre ce système dans toutes sortes d'industries, dans des installations allant jusqu'à 100 chevaux; et dans peu de temps des moteurs de 200 chevaux recevront certainement des applications.

Le coût du transport augmente beaucoup, pour la Suisse, le prix du charbon, de sorte que l'anthracite n'y est que de 25 p. 100 plus cher que la houille moyenne. Comme avec 650 grammes d'anthracite par cheval-heure, à 3,75 centimes le kilogramme, on obtient avec le moteur à gaz pauvre le même résultat qu'avec 1,2 kg. de houille à 3 centimes le kilogramme dans une machine à vapeur compound sans condensation, on voit que le résultat se traduit par une économie dans le rapport de 2 à 3.

Dans un article de l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, M. Weissenbach-Griffin décrit plusieurs installations suisses, où le gaz pauvre est employé à la production de l'énergie électrique.

La maison Stirnemann et Weissenbach, de Zurich, a installé, dans le cours de l'hiver dernier, plusieurs usines à gaz pauvre de plus de 100 chevaux.

A Romanshorn, une installation comporte un moteur de 70 et une autre, un moteur de 50 chevaux, qui actionnent par courroie et transmission des dynamos servant à l'éclairage ainsi que des machines élévatrices d'eau. Cette usine se trouve à 2,2 km. de distance du centre d'éclairage, et l'on se sert de courants alternatifs à 2.250 volts avec sept transformateurs pour les lampes à incandescence. Les 28 lampes à arc du port et de la gare sont, au contraire, alimentées sur un circuit à trois fils par deux dynamos à courant continu, avec 25 volts de perte sur la ligne. La combinaison avec une distribution d'eau permet une marche continue journalière de quinze à seize heures pendant l'hiver. Dans cette installation, la consommation d'anthracite de qualité moyenne est de 0,5 à 0,6 kg. par cheval-heure entre pleine charge et mi-charge des moteurs.

Dans une autre installation, à la station centrale de la Zürichbergbahn, deux moteurs de 50 chevaux actionnent par courroie des dynamos Oerlikon travaillant sur des accumulateurs. La consommation d'anthracite est aussi faible que dans le premier cas.

Le chiffre de 0,65 kg. d'anthracite par cheval-heure est donc facile à atteindre, et il faut s'attendre à une extension rapide des moteurs à gaz pauvre. A. H.

La pile à charbon de Borchers.

La transformation directe de l'énergie calorifique des combustibles en énergie électrique au moyen de l'élément Borchers, dont nous avons parlé à deux reprises[1], est l'objet de vives critiques. L'expérience montrera si ces critiques sont justifiées.

Nous avons déjà eu l'occasion de résumer les objections soulevées par M. Reed. Voici maintenant un chimiste allemand, M. Häus-

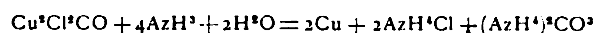
[1] L'*Eclairage électrique* des 17 novembre 1894, p. 451, et du 2 février 1895, p. 209.

sermann, qui vient à son tour mettre en doute la réalité des réactions sur lesquelles s'est basé M. Borchers, mais cette fois avec des résultats expérimentaux à l'appui, résultats obtenus en collaboration avec MM. Barnes et Vesenmeyer.

Ces expérimentateurs ont remarqué que dans des solutions de chlorure cuivreux acides ou ammoniacales le cuivre de la cathode se trouve attaqué, même quand le liquide est tenu à l'abri de l'air, et on pouvait très distinctement déceler la formation d'un courant avant même l'introduction de l'oxyde de carbone et de l'air dans l'électrolyte. Bien plus, dès qu'on introduit ces gaz, on observe un affaiblissement de ce courant.

Pour éliminer l'action de la cathode en cuivre, on n'a employé pour les électrodes que des plaques de charbon. Dans ces conditions, l'introduction d'oxyde de carbone et d'air dans la solution de chlorure cuivreux n'a produit aucun courant. Il s'ensuivrait donc que la substance dont est faite la cathode joue dans l'élément Borchers un rôle essentiel, et les auteurs croient que la question de la combustion froide des gaz de générateurs est à l'heure actuelle encore sans solution.

D'autre part, M. Borchers, revenant sur les réactions qui ont lieu dans son élément, fait remarquer tout d'abord qu'en solution ammoniacale, le chlorure cuivreux en absorbant l'oxyde de carbone dépose du cuivre métallique et forme du carbonate d'ammoniaque, d'après l'équation



$$Cu^2Cl^2CO + 4AzH^3 + 2H^2O = 2Cu + 2AzH^4Cl + (AzH^4)^2CO^3$$

qui se décomposerait ainsi, « en éliminant tout ce qui n'est pas essentiel » :

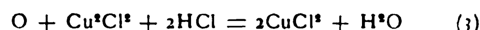


$$Cu^2Cl^2 + CO = Cu^2Cl^2CO, \qquad (1)$$



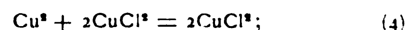
$$Cu^2Cl^2CO + H^2O = Cu^2 + 2HCl + CO^2. \qquad (2)$$

Si nous représentons ce qui se passe autour de la cathode par l'équation



$$O + Cu^2Cl^2 + 2HCl = 2CuCl^2 + H^2O \qquad (3)$$

et les réactions autour de l'anode par les deux premières équations, nous mettons en somme en présence du cuivre et du chlorure cuivrique qui réagissent l'un sur l'autre selon



$$Cu^2 + 2CuCl^2 = 2CuCl^2; \qquad (4)$$

en additionnant ces quatres équations fondamentales on arrive à



$$CO + O = CO^2,$$

c'est-à-dire que la résultante de toutes ces réactions serait la simple combustion de l'oxyde de carbone.

M. Robert Mond a essayé un grand nombre de combinaisons et a mesuré les forces électromotrices obtenues, qu'il indique dans le tableau suivant de l'*Electrician :*

Tableau I.

EXPÉRIENCES SUR LES PILES BORCHERS.

ANODE	SOLUTION	CATHODE	VOLTS
1. Charbon. . .	Acide chlorhydrique à 25 p. 100	Cuivre.	0,6006
2. Charbon. . .	Chlorure cuivrique dans HCl.	Cuivre.	0,4655
3. Charbon. . .	Chlorure cuivreux dans HCl.	Cuivre.	0,3774
4. Charbon. . .	Charbon dans l'oxychlorure de cuivre et HCl. . . . . Cuivre dans le chlorure cuivreux et HCl.	Cuivre.	0,4315
5. Charbon. . .	Charbon dans l'oxychlorure de Cu et HCl. . . . . Cuivre dans Cu^2Cl^2CO et HCl.	Cuivre.	0,4407
6. Charbon. . .	Charbon dans le chlorure cuivreux, HCl et air. . . . . . . Charbon dans le chlorure cuivreux, HCl et CO.	Charbon.	0,0015
7. Charbon. . .	Charbon dans le chlorure cuivreux, HCl et air . . . . . . Charbon dans le chlorure cuivreux, HCl et gaz d'éclairage.	Charbon.	0,0050

Pour M. Borchers les expériences 1 à 5 confirment le fait que la première action de l'oxygène à la cathode est de former du chlorure cuivrique, et la première action de l'oxyde de carbone à l'anode de précipiter du cuivre, de sorte que le voltage mesuré est celui propre à l'action du chlorure cuivrique sur le cuivre métallique. En ce qui concerne les expériences 6 et 7, M. Borchers rappelle qu'il avait commencé par employer des électrodes de charbon, et avait remarqué que le charbon est excellent pour transporter l'oxygène dans le liquide, mais qu'il ne favorise pas autant la dissolution de l'oxyde de carbone. Au contraire, à moins d'employer des précautions spéciales pour chasser tout l'oxygène d'une plaque de charbon préalablement exposée à l'air et d'éviter tout contact ultérieur avec l'air, une électrode de charbon non entièrement noyée dans l'électrolyte peut conduire l'oxygène directement, de l'anode dans l'oxyde de carbone ou sur le cuivre précipité. C'est ce qui semble s'être produit dans les expériences de M. Mond. Et c'est à cause de ces difficultés que M. Borchers a abandonné l'électrode de charbon dans le compartiment de l'anode.

Une autre raison encore l'a conduit à renoncer au charbon; et les expériences de M. Mond peuvent servir à l'appuyer. D'après sa deuxième expérience le circuit : charbon — chlorure cuivreux — cuivre donne un voltage de 0,3774. D'autre part, tous les chimistes savent qu'une solution d'oxyde de carbone dans le chlorure cuivreux tend à déposer du cuivre. Or, les conditions des expériences 6 et 7 sont telles qu'il y a trois substances en présence dans le compartiment de l'anode : du cuivre (déposé), du chlorure cuivreux, et du charbon, qui d'après la deuxième expérience, forment déjà entre elles une pile.

On fait encore remarquer d'autre part que l'acide carbonique formé par la combustion de l'oxyde de carbone ne se dégage pas, puisque, en présence de l'ammoniaque, il forme un carbonate qui reste dans l'électrolyte et en change la nature. Enfin, l'action de l'oxygène sur le chlorure cuivreux n'a pas seulement lieu d'après l'équation 3 donnée plus haut, mais peut aussi créer d'autres sels comme, par exemple, dans la réaction suivante



$$3Cu^2Cl^2 + 3O = Cu^4Cl^2O^3 + 2CuCl^2,$$

de sorte que, finalement, le cuivre serait aussi attaqué par le chlorure cuivrique formé par d'autres réactions que celles dont la résultante serait simplement la combustion « froide » de l'oxyde de carbone.

Il nous semble qu'au lieu de se lancer dans des hypothèses sur les réactions qui peuvent avoir lieu, il serait plus pratique de faire débiter un élément Borchers d'une manière continue sur une résistance et de mesurer l'énergie fournie au bout d'un temps suffisamment long. Si les réactions ont uniquement lieu entre les électrodes et l'électrolyte liquide, la pile serait vite épuisée; au contraire, si la combinaison de l'oxyde de carbone avec l'oxygène était la seule action électromotrice, la quantité d'énergie fournie pourrait croître indéfiniment, et le débit ne s'arrêterait qu'avec la circulation des deux gaz.

A. H.

Wattmètres enregistreurs pour courants polyphasés, par Shallenberger [1].

M. Shallenberger a créé, en vue des installations de la Niagara Falls C°, de nouveaux types de compteurs spécialement adaptés à la mesure des courants polyphasés. Le grand nombre d'applications que ces courants reçoivent actuellement en rendent l'usage indispensable. L'inventeur a combiné un appareil qui fonctionne exclusivement par les effets d'induction de courants, ce qui évite l'emploi de contacts mobiles ou de connexions d'aucun genre entre des organes en mouvement.

Le wattmètre enregistreur se compose d'un disque mince en aluminium, renforcé sur ses bords, dans lequel des courants sont induits par un système de 3 bobines placées deux au-dessous de lui, une au-dessus (fig. 1 et 3); cette

(1) *The Electrical World*, 5 janvier 1895.

dernière est montée en dérivation, les deux premières sont montées en série comme le montrent les figures 1 et 2 qui représentent, l'une le montage pour le cas des courants biphasés, l'autre le montage pour le cas des courants triphasés.

Dans la figure 1, A et B sont les circuits

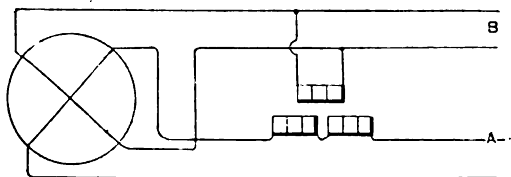


Fig. 1. — Schéma du montage du wattmètre Shallenberger pour courants biphasés.

parcourus par les courants biphasés. Les bobines en série sont montées dans le circuit A et la bobine en dérivation sur le circuit B par l'intermédiaire d'une résistance non inductive. Les courants, dans les deux séries de bobines, sont donc en quadrature quand il n'y a pas de retard dans le circuit extérieur, et seront exactement en phase avec un retard de 90 degrés dans le circuit. La différence de phase entre les courants dans les bobines est ainsi complémentaire de l'angle de retard du cou-

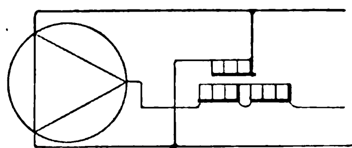


Fig. 2. — Schéma des circuits du wattmètre Shallenberger pour courants triphasés.

rant d'utilisation. Les conditions sont telles que le couple moteur exercé sur le disque est proportionnel au sinus de l'angle représentant la différence de phase entre les courants qui passent dans les deux bobines et, par conséquent, au cosinus de l'angle de retard du courant dans le circuit d'utilisation, c'est-à-dire à la puissance. Le couple est aussi directement proportionnel au produit des courants en série et en dérivation, c'est-à-dire qu'il varie directement comme la puissance transmise.

Des aimants permanents embrassent le disque entre leurs pôles, et amortissent le mouvement qui est ainsi maintenu proportionnel à la puissance. La légèreté des pièces mobiles et le peu de frottements assurent l'exactitude des mesures, même pour une puissance égale seulement à la centième partie de la pleine charge pour laquelle l'appareil est établi; à pleine charge, la vitesse angulaire

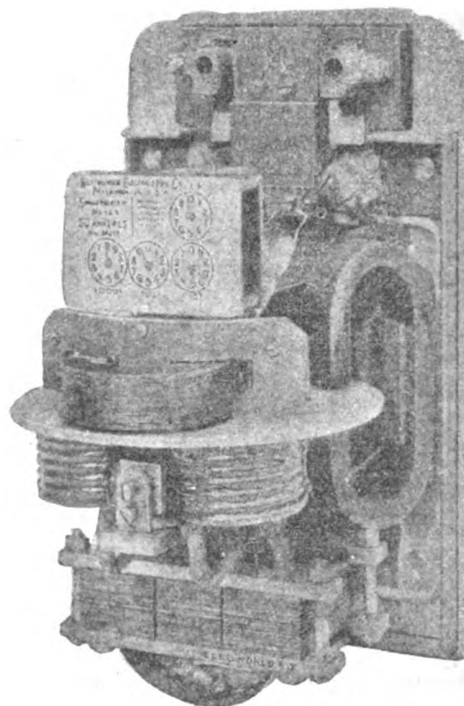


Fig. 3. — Wattmètre enregistreur Shallenberger.

du disque ne dépasse pas 40 à 50 tours par minute.

La figure 2 montre la disposition des circuits avec des courants triphasés. La bobine en dérivation est reliée à travers deux branches, et les bobines en série sont montées dans la troisième branche, en sorte que, comme dans le premier cas, le courant dans la bobine en dérivation est en quadrature avec la force électromotrice dans les bobines en série quoique les courants soient décalés, dans les branches, de 120 degrés. La résistance non inductive a été ajustée, bien entendu, pour s'adapter aux nouvelles conditions de fonc-

tionnement, et obtenir une constante correcte.

Pour obtenir une sensibilité plus considérable et une exactitude plus grande, on peut relier deux ou plusieurs branches du circuit polyphasé à des groupes inducteurs correspondants, dans le même instrument; mais pour l'emploi commercial, la forme simple est bien suffisante, surtout quand on l'emploie sur des circuits équilibrés, comme c'est le cas pour les moteurs.

Les appareils indicateurs sont basés sur le même principe; seulement, le couple moteur est équilibré par l'action d'un ressort spirale et ne cause qu'une déviation, au lieu d'entraîner une rotation. La graduation a la forme d'une bande qui entoure le disque et se meut avec lui, derrière un index immobile. Cet arrangement permet l'emploi de longues échelles avec de larges divisions, facilement lisibles à une distance assez considérable (fig. 4). Les aimants permanents sont conservés. Ils rendent les appareils à peu près complètement apériodiques.

Dans le voltmètre, les deux séries de bobines sont montées en série l'une avec une résistance non inductive, l'autre, avec une résistance présentant une grande self-induction, afin de causer dans la bobine correspondante un retard de 90 degrés.

Les pertes dans le fer et dans le cuivre de la résistance inductive sont réduites au minimum, et un faible espace d'air est maintenu dans le circuit magnétique, afin d'éviter une aimantation trop forte du noyau et rendre le courant magnétisant proportionnel à l'induction. Le courant dans ce circuit est donc directement proportionnel à la différence de potentiel et ceci est vrai aussi dans le circuit contenant la résistance non inductive. La déviation est proportionnelle au carré du potentiel et est indépendante de la fréquence, dans les limites généralement adoptées.

L'ampèremètre est basé sur des effets analogues ; nous ne le décrirons pas.

A Niagara, des transformateurs spécialement construits pour cet usage réduiront la différence de potentiel et l'intensité à des valeurs convenables. Ces transformateurs sont proportionnés de façon à ne pas introduire d'erreur par changement de phase; ils évitent les difficultés qu'entraîne la construction d'instruments pour la mesure des courants intenses.

M. Shallenberger a construit aussi un appareil de ce genre pour la mesure des courants monophasés; son aspect rappelle celui des appareils que nous avons décrits en premier lieu; seulement, au lieu d'employer sur le circuit en dérivation une bobine non inductive, on emploie une bobine ayant une self-induction considérable. Cette bobine d'induction a une importance considérable; elle doit, non seulement ne presque pas dissiper d'énergie, mais encore ne pas introduire par hystérésis de déformation dans la forme du courant, comme c'est le cas pour le primaire d'un transformateur, à charge nulle. Un autre point important est de donner à l'intervalle d'air du circuit magnétique une proportion convenable et d'employer du fer doux de première qualité. Les pertes dans le fer sont si faibles, cependant, que même étant augmentées par la fatigue, après un long usage, le retard resterait pratiquement constant; en outre, par suite de la valeur élevée de l'angle de retard, la différence dans la valeur de son sinus, dont le couple dépend, serait encore moindre.

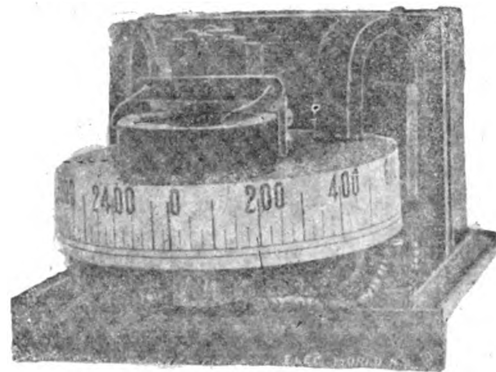


Fig. 4. — Wattmètre indicateur Shallenberger.

Une des qualités importantes de ces appareils réside dans leur longue portée; un comp-

teur établi pour 50 lampes enregistre la consommation de 2 lampes seulement, et son exactitude, pour une intensité de 0,5 ampère, est pratiquement aussi grande qu'à pleine charge.

Le courant dérivé est au maximum de 0,1 ampère, et par suite du décalage, la puissance consommée est pratiquement négligeable.

G. P.

Économie comparative du courant monophasé et des courants polyphasés, par G. Georges (¹).

Examinons maintenant la question des moteurs. Dans les moteurs polyphasés l'anneau extérieur fixe est le siège de production d'un champ tournant. Ce champ engendre des courants dans les spires en court circuit de l'armature, dès que celle-ci tourne moins vite que le champ. Les courants les plus intenses ont lieu au voisinage des pôles de l'anneau extérieur. Entre les lignes de force et les courants des spires d'armature s'établit une réaction mécanique mutuelle, les fils de l'armature sont sollicités par un couple dans le sens de la rotation du champ. Ce couple est proportionnel à la différence de vitesse angulaire entre le champ et l'armature. La perte calorifique est proportionnelle au carré de la différence de vitesse, et le rapport de cette différence à la vitesse du champ représente la perte pour cent de la puissance totale.

Le moteur asynchrone se comporte un peu différemment. Il fonctionne également avec un champ tournant, mais dont la rotation n'est pas provoquée par les courants primaires seuls, mais par l'action combinée de ceux-ci avec les courants induits dans l'armature tournante. Le courant primaire ne crée qu'un champ pulsatoire, par exemple, dans la direction de l'axe des x d'un système de coordonnées rectangulaires. Tant que l'armature est au repos, ses courants ne produisent également qu'un champ alternatif fixe, présentant une certaine différence de phase par rapport au champ primaire mais s'exerçant aussi dans la direction de l'axe des x. Avec la rotation de l'armature apparaît une composante dans la direction de l'axe des y. Cette composante, de même période que celle des x, présente avec cette dernière une différence de phase de près de 90 degrés, et une amplitude proportionnelle à celle de la composante x et à la vitesse angulaire de l'armature. L'intensité des champs peut en effet s'exprimer par les formules suivantes :

$$m_x = M_x \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$m_y = \left(\nu M_x \sin 2\pi\varphi_y\right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi_y\right),$$

dans lesquelles v désigne la vitesse de l'induit comme fraction de la vitesse du synchronisme, et $2\pi\varphi_y$ un angle de différence de phase indépendant de v et atteignant près de 90 degrés.

Si la vitesse du moteur s'écarte peu de celle du synchronisme, les composantes x et y sont presque égales, et le champ est à peu près circulaire. On peut le décomposer en un champ tournant circulaire et un champ alternatif fixe, dont l'orientation s'écarte un peu, dans le sens de rotation, de l'axe des x. Les pulsations ne peuvent jamais disparaître, car, même au synchronisme, elles doivent encore suffire à produire la composante y. Le champ tournant entraîne l'armature exactement comme dans les moteurs polyphasés. Le couple augmente avec la différence des vitesses angulaires, mais atteint son maximum et descend à zéro pour une vitesse nulle. Le moteur ne démarre donc pas seul, et n'a pas de sens de rotation déterminé. Si, avec la main, on lui donne une impulsion dans un certain sens, il continue à tourner dans ce sens et atteint bientôt, à charge nulle, sa vitesse qui est un peu inférieure à la vitesse du synchronisme.

Habituellement, on se sert de dispositifs spéciaux de démarrage. On enroule l'anneau extérieur comme celui d'un moteur biphasé, dont la seconde branche, employée seulement passagèrement, peut être formée de fil fin. Puis

(¹) Voir l'*Eclairage électrique*, 9 mars 1895, p. 462.

on cherche à diviser le courant principal en deux courants décalés l'un par rapport à l'autre. A cet effet, on monte les deux branches de l'enroulement en dérivation et on intercale dans la branche auxiliaire soit une bobine de self-induction, soit un condensateur. S'il était possible de créer ainsi des courants polyphasés à phases convenablement espacées, le plus simple serait de faire fonctionner le moteur en polyphasé. Mais la différence de phase que l'on obtient est assez petite, et on ne peut laisser la branche auxiliaire intercalée d'une manière permanente. Le déphasage des deux branches ne peut servir que pour la mise en marche du moteur avec un certain couple initial. Pour la même raison, le couple de démarrage n'est pas aussi grand qu'avec les courants polyphasés. Le sens de rotation du moteur peut d'ailleurs être renversé, grâce à la présence de la disposition biphasée.

Comme le champ tournant ne peut se produire qu'avec l'aide des courants de l'armature, ceux-ci ne peuvent jamais disparaître, ce qui indique que le moteur travaille avec une plus grande perte calorifique que le moteur polyphasé, dont l'armature n'est le siège, dans la marche à vide, que de courants négligeables. Si l'on fait tourner en monophasé un moteur biphasé, en coupant une des deux branches, l'autre branche doit prendre une intensité de courant double, pourvu que la différence de phase reste la même, ce qui est, à peu de chose près, le cas. Comme nous l'avons fait remarquer, la dispersion magnétique doit, par conséquent, augmenter considérablement. L'aimantation doit d'ailleurs rester la même, car elle dépend presque exclusivement de la différence de potentiel aux bornes. Or, comme dans le moteur polyphasé la moitié du nombre d'ampères-tours suffit pour produire la même aimantation, il faut que dans le moteur monophasé la moitié du nombre d'ampères-tours apparaisse dans l'armature en sens opposé. Ce sont, en effet, les ampères-tours dans la direction de l'axe de x. La composante transversale de l'aimantation doit être fournie uniquement par les courants de l'armature, il y a donc aussi, dans la direction des y, un grand nombre d'ampères-tours. C'est ainsi qu'à différence de vitesse égale, la perte calorifique est double, et à puissance égale, plus du double que dans le moteur polyphasé. Les valeurs exactes ne peuvent être fournies que par le calcul, dont le tableau ci-dessous contient les résultats pour le cas où il n'y a pas de dispersion des lignes de force.

	COURANTS polyphasés P	COURANT monophasé M	RAPPORT $\frac{M}{P}$
Couple de rotation. . . .	$c_1 M_x^2 (1 - \nu)$	$c_1 M_x^2 \frac{(1 - \nu^2)\nu}{2}$	$\frac{(1 + \nu)\nu}{2}$
Perte calorifique des courants de l'armature. . . .	$c_2 M_x^2\, 2 (1 - \nu)^2$	$c_2 M_x^2 (1 - \nu^2)^2$	$\frac{(1 + \nu)^2}{2}$

Pour le courant monophasé, les valeurs sont approximatives, $2\pi\varphi_\nu$, ayant été posé $= 90°$; c_1 et c_2 sont les constantes dépendant des dimensions du moteur et de la fréquence. Si l'on admet, par exemple, 5 p. 100 de différence de vitesse, on a $v = 0{,}95$, et l'on obtient, pour le rapport des couples 0,926, et pour le rapport des pertes calorifiques, 1,90. C'est-à-dire qu'à 5 p. 100 de différence de vitesse un moteur polyphasé donne lieu à 5 p. 100 de perte calorifique dans les fils de l'armature; le même moteur fonctionnant en monophasé et dans les mêmes conditions d'aimantation et de différence de vitesse, présente une perte calorifique de $5 \times 1{,}90 = 9{,}5$ p. 100, en même temps que son couple est d'environ 7,5 p. 100 inférieur à celui du moteur polyphasé. La dispersion plus grande dans le moteur monophasé déprime encore le couple, de sorte que la puissance est encore diminuée. Comme enfin, le maximum du couple est beaucoup moins élevé que dans le moteur polyphasé, le moteur à courant alternatif simple est beaucoup plus exposé à se trouver calé par une charge un peu considérable.

Pour l'enroulement sur l'anneau extérieur nous avons vu qu'en monophasé il ne peut pas

être pleinement utilisé, d'abord parce que les spires aux extrémités de bobines voisines se neutralisent, d'autre part, parce qu'il faut réserver de l'espace pour l'enroulement auxiliaire. Le noyau de fer doit être le même que dans le moteur polyphasé, parce qu'au démarrage le moteur fonctionne en polyphasé et continue ensuite à marcher à champ tournant. L'utilisation de l'espace libre pour l'enroulement est, par conséquent, beaucoup moins avantageuse, et la perte calorifique à puissance égale est donc aussi plus grande dans l'anneau extérieur.

Un moteur biphasé ou triphasé alimenté par du courant alternatif simple présente donc, à puissance égale, deux fois plus de perte calorifique qu'en polyphasé. Dans la pratique, on trouve qu'un moteur monophasé fournit environ 70 p. 100 de la puissance d'un moteur polyphasé de même prix et de même poids, et qu'il a en même temps un rendement inférieur de 6 à 10 p. 100.

Nous pouvons résumer les résultats des considérations qui précèdent en disant que les courants polyphasés offrent le plus d'avantages surtout au point de vue des petits moteurs dans lesquels la perte calorifique joue un rôle important. De plus, en ce qui concerne les hautes tensions, les courants triphasés sont supérieurs aux biphasés; aux autres points de vue les deux systèmes se valent.

Nous nous demanderons maintenant si les courants polyphasés comportent, dans l'installation ou dans l'exploitation, des inconvénients essentiels. C'est le consommateur qui est le principal intéressé; pourvu qu'il ait un bon éclairage, le système employé (2 fils ou 3 fils) lui est indifférent. Mais le consommateur de force motrice est avantagé par l'emploi des courants polyphasés; le troisième fil remplace le dispositif de démarrage des moteurs monophasés. La mise en marche du moteur triphasé est plus facile ; pour nombre d'applications cela est important, et à ce point de vue de la distribution de la force motrice, la supériorité du moteur triphasé est incontestée.

En ce qui concerne la qualité de l'éclairage, on a fait aux courants triphasés de graves reproches, depuis longtemps réfutés par la pratique. On prétend que dans le cas de charge inégale des trois branches, on ne peut maintenir constants les trois voltages, à moins d'employer des appareils de régulation compliqués. Or, ceci est une question de construction de machines. Il suffit d'établir la machine de telle sorte qu'elle présente une petite réaction d'induit, et d'un coup toutes les difficultés disparaissent. On objectera que les machines deviennent alors plus coûteuses; mais elles le seront toujours moins que les machines monophasées de même puissance; et d'ailleurs, quand il s'agit de moteurs, il est de toute façon nécessaire de travailler avec une petite réaction d'induit, sinon, on troublera toujours les lampes au moment de la mise en marche des moteurs qu'ils soient mono ou polyphasés. La réaction d'induit est, en effet, d'autant plus grande que la phase du courant est plus décalée par rapport à la phase de la force électromotrice dans l'armature, un courant de 100 ampères dans les moteurs produisant, à excitation constante une chute de potentiel beaucoup plus grande que 100 ampères de courant d'éclairage. En intercalant un moteur triphasé, l'énergie est en outre empruntée à plusieurs circuits; dans le cas d'un moteur monophasé, au contraire, au seul circuit existant. La chute de potentiel par la résistance dans le réseau s'étend donc plus loin, mais est moins intense qu'avec le moteur monophasé. A la station centrale de Chemnitz on pouvait sans précaution spéciale, intercaler brusquement les moteurs de 7.5 chevaux. Les moteurs ont en outre un effet de compensation très marqué. Quand le voltage, d'une branche est plus faible, le moteur lui emprunte moins d'énergie qu'aux autres; dans des cas de très grande différence de voltage le moteur peut même transmettre de l'énergie électrique d'une branche à une autre. Enfin, les moteurs compensent les trois branches en les chargeant toutes les trois et en diminuant ainsi les différences de charge relatives dues à l'éclairage.

Le service d'une station centrale à courants triphasés est donc extrêmement simple. A Chemnitz, chaque groupe de machines est accompagné d'un ampèremètre et d'un wattmètre dans le circuit principal, d'un ampèremètre dans le circuit d'excitation et d'un rhéostat dans le shunt de l'excitatrice. Il faut ajouter à cela le dispositif pour le couplage en parallèle et trois voltmètres, reliés à l'enroulement secondaire d'un des transformateurs du réseau. D'après les indications de ces voltmètres, on règle la tension des machines en agissant sur le shunt de l'excitatrice. Il n'est aucunement question d'une régulation particulière pour chacune des trois branches. Le même montage très simple a été appliqué dans plusieurs stations centrales établies par la maison Siemens et Halske, et n'a présenté nulle part de difficultés.

Le courant biphasé n'offre la possibilité d'un réglage séparé des deux tensions que lorsque chaque machine possède deux armatures produisant chacune du courant monophasé. Cette disposition est plus coûteuse et présente, en outre la faible puissance spécifique des alternateurs ordinaires.

On a encore proposé divers autres systèmes, tenant le milieu entre les systèmes mono- et polyphasés. A l'installation des gares de Dresde on a choisi le système suivant indiqué par M. Ulbricht. Les machines sont à courants triphasés avec montage en étoile, mais les lampes sont toutes réunies en un groupe, et le troisième fil ne dessert que les moteurs.

D'après d'autres propositions on emploierait le troisième fil pour le démarrage des moteurs seulement. On veut même se servir d'une machine spéciale fournissant le courant de démarrage à phase décalée. Du moment qu'on emploie un troisième fil, on ne voit pas pourquoi il ne resterait pas en service constant, puisqu'il permet d'économiser pour chaque moteur un commutateur et de simplifier le démarrage.

On peut résumer brièvement les résultats de celte étude dans les conclusions suivantes :

1. Le système à courants triphasés est plus économique que les autres systèmes, surtout quand il s'agit de transmissions à grande distance.

2. La régulation des courants triphasés ne présente pas de difficultés.

3. Les moteurs polyphasés sont actuellement d'achat moins coûteux, de rendement plus économique, de manipulation plus aisée et influent moins sur l'éclairage par les mêmes circuits que les moteurs à courant alternatif simple.

A. H.

Commutateurs automatiques Hopkinson (1893).

Dans le dispositif représenté par les figures 1 et 2, le bras A, qui relie les touches 1. 1ª. 2. 2ª.. au contact 7, fou sur l'axe F, est pressé sur ses contacts par le croisillon 8. de F et le levier 9. 9, à poids ou à ressort 10. Les touches 1. 2. 3.. 6 sont, comme l'indique le

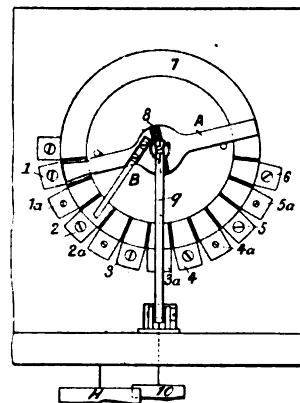


Fig. 1.

schéma fig. 4, reliées aux bornes d'une série d'accumulateurs chargés par une dynamo. L'accumulateur en chargement a l'un de ses pôles relié à A et l'autre au bras isolé B : A et B aboutissant respectivement (fig. 3) aux bornes C et D de l'électro-aimant E. Le bras A est commandé par la transmission HGF, régularisée par le modérateur à ailettes JK. L'armature L de E est montée sur un levier M, avec ressorts néglables R et S à dent

O engageant les cames Q de la poulie G, et à taquet P, arrêtant l'ailette K. Les contacts 1^a. 2^a. 3^a. sont reliés à 1. 2. 3.. 6 par des résistances afin d'éviter les mises en court circuit

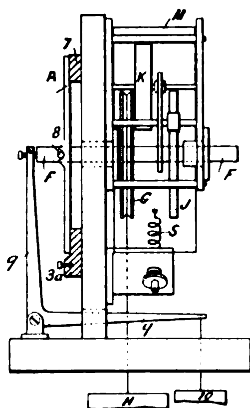


Fig. 2.

pendant le passage du bras A d'un accumulateur à l'autre.

Dès que l'accumulateur relié aux bras A et B est chargé l'électro E, attirant L malgré S, retire P de K et O de la came Q actuellement enclanchée, ce qui permet à H de faire tourner F et passer AB sur la pile suivante. Dès l'ori-

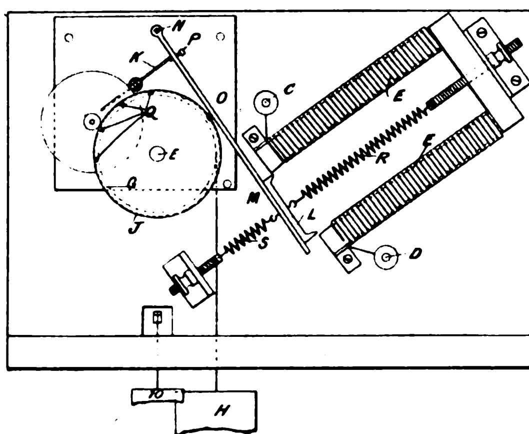


Fig. 3.

gine de ce mouvement, E lâche L, mais le bras AB ne peut pas s'arrêter entre deux piles, parce que les cames Q sont étagées de manière à n'arrêter K, par le renclanchement de O, que dans des positions de chargement de A.

En figure 5, 6 et 7, le commutateur sert à la

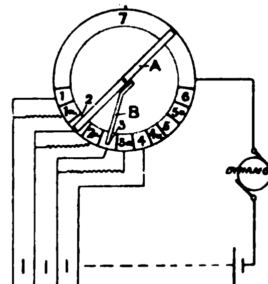


Fig. 4.

décharge des piles. L'arbre F de A est commandé par une dynamo G. L'électro-aimant H,

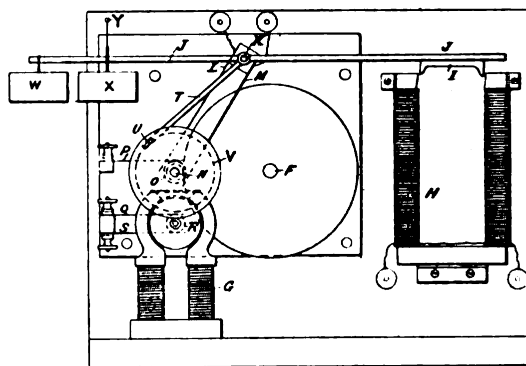


Fig. 5.

relié aux bornes du circuit dont il faut maintenir le potentiel invariable, a son armature

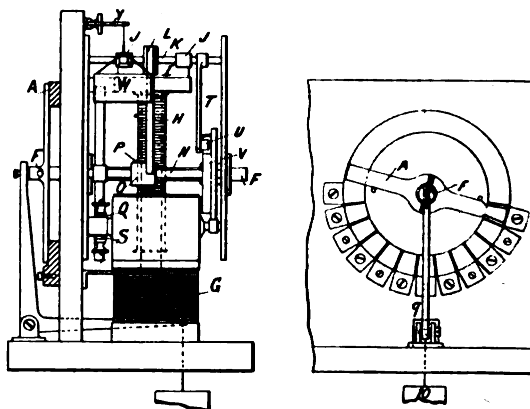


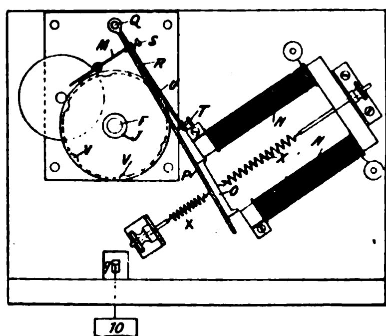
Fig. 6 et 7.

IJ chargée par deux poids : l'un fixe W, l'au-

tre curseur X, et porte deux contacts L et M isolés l'un de l'autre; enfin l'arbre N porte un anneau O, à contact P, relié à l'un des balais Q du commutateur R. Le balai S est relié au point milieu de la batterie, et L et M aux pôles extrêmes. Quand le potentiel augmente, H, attirant I, ferme par M O le circuit de G, qui tourne A de manière à lui faire supprimer les éléments qu'il faut. Inversement, si le potentiel baisse, W ferme par LO le circuit de G de manière à le faire tourner en sens contraire de précédemment. Le poids X est suspendu par un étrier Y de manière qu'il ne porte pas sur J dans sa position normale, et que W agisse seul pour amener L sur O.

Afin d'empêcher A de rester dans une position intermédiaire sur ses contacts, le bras T de K, porte par son taquet U, sur le cylindre V, calé sur N. Ce cylindre porte une encoche qui enclanche U, quand le potentiel est normal, avec L et M hors de O; mais, dès que l'un de ces contacts se fait sur O, il y reste maintenu par la pression de U sur V jusqu'à ce que l'encoche de V revienne en face de U.

En figures 8 et 9, le commutateur est commandé par un train différentiel à poids GHI



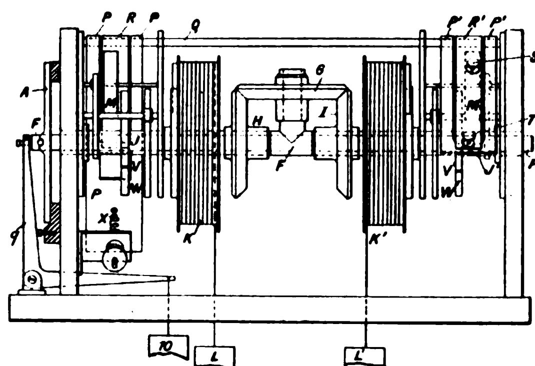


Fig. 8 et 9.

dont G calé sur l'arbre F et A, H et I sur des manchons J et J', commandés par rochets des poulies KK, à poids L et L_1 et modérateurs MM_1 L'armature OP de l'électro-aimant N actionne directement, et par son axe Q, à bras P, deux taquets T et T_1, qui commandent les leviers R et R_1, fous sur Q, et pourvus de taquets S et S_1 arrêtant les ailettes M et M_1.

Quand le potentiel augmente, O attiré soulève R et lâche M, qui laisse le poids L faire tourner F, par HG, de façon que A supprime des piles : si le potentiel baisse, O, ramené par le ressort X, dégage par P_1R_1 l'ailette M_1 qui laisse L_1 faire, par IG, tourner F en sens contraire de précédemment, de manière à ramener le potentiel à sa valeur normale, après quoi O revient à sa position de repos. Afin que le bras A ne puisse pas s'arrêter en une position intermédiaire, les taquets S et S_1 sont disposés de manière à ne pouvoir engager M et M_1 que si les taquets U et U_1 le sont dans les cames V et V_1, étagées de manière à ne l'être qu'avec A bien en contact.

G. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

La pile Clark en circuit fermé, par R. Threlfall (¹)

Dans cette note, l'auteur présente quelques objections à la méthode employée par M. Skin-

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 295-297 ; mars 1895.

ner ([1]) pour la détermination de la force électromotrice de polarisation d'une pile Clark.

Cette méthode exige la mesure de la résistance extérieure *r* sur laquelle on ferme la pile et celle de la résistance R de la pile elle-même. La résistance *r* était prise dans une boîte de résistances étalonnée en ohms légaux ou constituée par un fil d'argent allemand plongé dans un bain d'huile de paraffine. M. Threlfall se demande si cette résistance possède bien, lorsqu'elle est parcourue par le courant continu et relativement intense de la pile, la valeur que l'on mesure par les méthodes ordinaires, au moyen de courants très faibles et de très courte durée. Toutefois il ne fait que signaler cette objection, M. Skinner ayant pu prendre des précautions, non indiquées dans son Mémoire, pour éviter toute erreur due à l'échauffement de la résistance *r* par le courant de la pile.

L'auteur insiste au contraire sur la détermination de la résistance R. Cette résistance était mesurée, au moyen de courants alternatifs, par la méthode de Macgregor. La méthode est très bonne, mais la mesure n'étant pas faite sur la pile en circuit fermé, les valeurs trouvées pour la force électromotrice de polarisation reposent sur cette hypothèse que la résistance R est la même, que la pile soit en circuit fermé ou seulement traversée par des courants alternatifs et intermittents. Suivant M. Threlfall, cette hypothèse est absolument incorrecte.

Aussi n'admet-il pas la conclusion de M. Skinner : la force électromotrice de polarisation d'une pile Clark croît lentement avec le temps. Des expériences antérieures de MM. Threlfall et Pollock ([2]) montraient qu'il y a, au contraire, diminution lente de la polarisation ; l'auteur revisa soigneusement les résultats trouvés dans ces expériences. Cette revision confirmerait l'exactitude de cette dernière conclusion. En outre, quelques nouvelles expériences, faites depuis la publication du Mémoire de M. Skinner, conduisent aussi à cette conclusion.

J. B.

([1]) SKINNER. *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 271. *L'Eclairage électrique*, t. I., p. 176.

([2]) THRELFALL et POLLOCK, *Physical Society*, 23 mars 1889. *La Lumière électrique*, t. XXXII, p. 138.

Méthode de comparaison des valeurs de la capacité inductive spécifique d'une même substance avec des champs lentement et rapidement variables. — Résultats pour la paraffine et le verre, par Edwin F. Northrup ([1]).

Dans ces dernières années quelques expérimentateurs ont employé les oscillations hertziennes pour déterminer la capacité inductive spécifique des diélectriques. Les valeurs qu'ils ont trouvées ainsi diffèrent de celles qui ont été obtenues antérieurement par l'emploi des champs électriques beaucoup plus lentement variables. Mais comme ces deux sortes de valeurs ne se rapportent pas au même échantillon et qu'elles sont fournies par des méthodes généralement fort différentes, abstraction faite de la nature du champ, il est difficile de tirer des conclusions sérieuses de leur comparaison. C'est pour obvier à cet inconvénient que l'auteur a exécuté les expériences qui font l'objet de ce Mémoire.

L'appareil employé se compose de trois plaques de laiton rectangulaires, de 30,6 cm. sur 37 cm. de côtés, disposées horizontalement à une distance de 8,125 cm. les unes au dessus des autres ; nous les désignerons par A, B, C. Entre la plaque supérieure B et la plaque centrale A, se trouve un plateau de verre rectangulaire, de 11,5 cm. sur 15,2 cm. de côtés, dont la face inférieure est recouverte d'une feuille d'étain ; nous l'appellerons M. Entre la plaque inférieure C et la plaque centrale A se trouve un second plateau, N, identique au précédent, dont la face supérieure est recouverte d'étain. Ces deux plateaux, disposés horizontalement, peuvent être déplacés, perpendiculairement à leurs plans, au moyen de crémaillères et de pignons dentés ; deux règles munies de verniers permettent de déter-

([1]) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 78-93 : janvier 1895.

miner leurs distances à la plaque centrale A. Les deux plaques extrêmes B et C sont mises en communication par une tige de cuivre, deux fois recourbée, au milieu de laquelle est placée une petite sphère de laiton bien polie *p*, de 2,4 cm. de diamètre. En face de cette sphère, s'en trouve une autre *n* reliée à la plaque centrale A par une courte tige.

Les plaques B et C sont mises en communication avec le sol; la sphère *n* de la plaque A est reliée à un des pôles d'une bobine d'induction dont l'autre pôle est relié au sol. Quand la distance des deux sphères est de 6 à 8 mm. des étincelles jaillissent entre ces sphères et un champ oscillant rapide prend naissance entre les plaques A et B d'une part, et entre les plaques A et C d'autre part. Si, au contraire, les sphères sont suffisamment écartées pour qu'il ne se produise pas d'étincelles, le champ qui prend naissance entre ces plaques est lentement variable. Dans la région où se trouvent les deux plateaux M et N, le champ peut, dans les deux cas, être pratiquement considéré comme uniforme et quand ces plateaux sont à la même distance de A, ils ont à chaque instant le même potentiel.

Si l'on place sur A une lame diélectrique, le potentiel d'un point situé au-dessus de A devient plus grand que celui du point symétrique par rapport à A. Par conséquent les deux plateaux M et N, supposés toujours à la même distance de A, cessent dès lors d'avoir à chaque instant le même potentiel. Pour ramener l'égalité des potentiels il faut déplacer l'un des plateaux et ce déplacement dépend nécessairement de la valeur de la capacité inductive spécifique de la lame; si donc on détermine, comme nous allons le voir plus loin, la relation qui lie ce déplacement à la capacité inductive spécifique on peut, au moyen de l'appareil, mesurer cette dernière quantité.

Si l'on place une lame diélectrique sur A et une seconde sur la plaque inférieure C on produit encore une différence de potentiel entre les deux plateaux M et N et même cette différence de potentiel est plus accentuée que dans les conditions précédentes. Du déplacement qu'il faut faire subir à l'un des plateaux pour faire disparaître cette inégalité de potentiel, on peut également déduire la capacité inductive spécifique. De là, un second procédé de mesure de cette quantité.

Mais ces deux procédés de mesure supposent que l'on possède un moyen de reconnaître que les deux plateaux sont à chaque instant au même potentiel. Après de nombreux essais, l'auteur s'est arrêté au suivant, pour le cas de variations rapides du champ.

Les deux plateaux M et N sont respectivement reliés aux extrémités du primaire d'un transformateur dont le secondaire communique avec un micromètre à étincelles. Le transformateur se compose de deux tubes de verre concentriques sur lesquels sont enroulés les fils. Le tube intérieur a 4 cm. environ de diamètre et 20 cm. de longueur; il est recouvert d'une couche de paraffine pour assurer un bon isolement; sur cette paraffine est tracée une hélice de 55 tours suivant laquelle est enroulé le fil primaire. Sur le tube extérieur est enroulé le fil secondaire qui forme 116 tours à raison de 14 tours par centimètre. Le micromètre est formé de deux aiguilles traversant deux morceaux d'ébonite fixés à un support de bois. Des étincelles jaillissent entre les pointes des deux aiguilles quand, les étincelles jaillissant entre les sphères *n* et *p*, les deux plateaux M et N ne sont pas au même potentiel.

Remarquons que, à cause de la self-induction considérable de la bobine d'induction, la plaque A, reliée à l'un des pôles de cette bobine, commence par se charger lentement jusqu'au moment où une étincelle éclate entre *m* et *n*, tandis que pendant la durée de cette étincelle la variation de charge de A est extrêmement rapide. Un champ rapidement variable succède donc à un champ lentement variable et s'il est vrai, comme l'indiquent les expériences antérieures, que la capacité inductive spécifique dépend de la rapidité des variations, les positions des deux plateaux correspondant à une différence du potentiel nulle ne doivent pas être les mêmes dans l'un et l'autre cas. Il importait donc que le moyen employé pour

reconnaître l'égalité de potentiel des deux plateaux dans le cas d'un champ rapidement variable ne soit pas affecté par les variations lentes du champ. Le moyen que nous venons de décrire satisfait à cette condition, car si l'on écarte suffisamment les sphères m et n pour qu'il ne jaillisse pas d'étincelles entre elles et que, par suite, il n'y ait que des variations lentes du champ, on n'observe pas d'étincelles entre les pointes du micromètre.

Pour juger de l'égalité des potentiels des plateaux M et N dans le cas d'un champ lentement variable, l'auteur supprime le transformateur, c'est-à-dire réunit directement les deux plateaux aux deux pointes du micromètre. Des étincelles se produisent entre ces pointes quand les plateaux ne sont pas à chaque instant au même potentiel.

Cherchons maintenant la relation entre la capacité inductive spécifique K de la substance étudiée et les quantités qui déterminent les positions des deux plateaux M et N.

Plaçons-nous d'abord dans le cas où une seule plaque d'épaisseur d_1. est placée au-dessus de la plaque A.

Prenons pour potentiel zéro celui du sol, et par suite celui des plaques B et C qui y sont reliées. Soient V le potentiel de A, V_1 celui du plateau M, σ' la densité superficielle sur la face supérieure du plateau A et d_4 la distance de la face supérieure de la lame diélectrique à la face inférieure du plateau M. En écrivant que le travail des forces électriques agissant sur un point chargé de l'unité de quantité d'électricité et qui se déplace de A à M est égal à la différence de potentiel, on a

$$V - V_1 = \frac{4\pi\sigma'}{K} d_1 + 4\pi\sigma' d_4.$$

Si d_2 est la distance du plateau N à la plaque A, quand N est au même potentiel que M, on a

$$V - V_1 = 4\pi\sigma d_2,$$

σ étant la densité superficielle sur la face inférieure de A.

De ces deux égalités, on déduit

$$K = \frac{\sigma' d_1}{\sigma d_2 - \sigma' d_4},$$

ou, en introduisant les capacités par unité de surface, $c = \sigma V$ et $c' = \sigma' V$, des deux condensateurs AC et AB,

$$K = \frac{c' d_1}{c d_2 - c' d_4}.$$

Mais ces capacités ont respectivement pour valeurs

$$c = \frac{A}{4\pi(d_2 + d_3)},$$

$$c' = \frac{A}{4\pi\left(\frac{d_1}{K} + d_4 - d\right)},$$

d étant la distance du plateau M à la plaque supérieure B et d_3 celle du plateau N à la plaque C. En portant ces valeurs dans K, il vient, après simplifications,

$$K = \frac{d_1 d_3}{d d_2 - d_3 d_4}, \qquad (1)$$

et, dans le cas particulier où $d_4 = 0$, c'est-à-dire dans le cas où l'on fait reposer le plateau M sur la lame diélectrique,

$$K = \frac{d_1 d_3}{d d_2}. \qquad (2)$$

Si l'on détermine au moyen de cette relation la meilleure position qu'il convient de donner au plateau N, pour qu'une erreur de lecture sur d_3 ait la moindre influence sur la valeur de K, c'est-à-dire si l'on écrit la condition $\frac{dK}{dd_3} = 0$, on trouve qu'il convient de placer ce plateau à la moitié de la distance D qui sépare les plaques A et C. Par suite, on doit prendre

$$d_3 = d_2 = \frac{D}{2} = \frac{d + d_4}{2},$$

et l'on a

$$K \frac{d_1}{d}.$$

De ces dernières égalités, on déduit

$$\frac{D}{2} = \frac{\frac{d_1}{K} + d_4}{2},$$

d'où

$$d_1 = \frac{K}{1 + K} D;$$

comme K est approximativement connu, on peut toujours calculer à l'avance l'épaisseur d_1 qu'il convient de donner à la lame pour avoir la plus grande précision dans les mesures.

Passons maintenant au cas où deux lames diélectriques identiques sont placées, l'une sur A entre A et M, l'autre sur C entre C et N. On a alors, en considérant la partie de l'appareil situé au-dessus de A,

$$V - V_1 = \frac{4\pi\sigma}{K} d_1 + 4\pi\sigma d_4,$$

et en considérant la partie située au-dessous,

$$V - V_1 = 4\pi\sigma d_2.$$

On en déduit

$$K = \frac{d_1}{d_2 - d_4} \qquad (3)$$

Les formules 1, 2 et 3 supposent qu'à chaque instant les relations de l'électrostatique sont applicables. En particulier, le premier procédé de mesure suppose que les densités σ et σ' sur les deux faces de la plaque A sont différentes. Or, quand les variations du champ deviennent très rapides, ces densités tendent à s'égaliser. Il en résulte une erreur que l'on ne peut éliminer qu'en se plaçant dans des conditions telles que ces densités doivent théoriquement être égales, ce qui est possible en rendant égales les capacités des condensateurs AB et AC. On y parvient en modifiant la distance D des plaques A et C. Comme on connaît toujours *à priori* la valeur approximative de K, on peut calculer à l'avance la distance D telle que la capacité du condensateur à lame d'air AC soit égale à celle du condensateur à lame mi-partie air et mi-partie diélectrique AB. On détermine alors, au moyen de l'appareil, une valeur plus approchée de K qui sert à calculer une nouvelle valeur de D. En donnant à la distance des plaques A et C cette nouvelle valeur, l'expérience fournit une valeur encore plus approchée de K, et ainsi de suite.

Le second procédé de mesure n'offre pas le même inconvénient, mais il exige l'emploi de deux lames diélectriques de même épaisseur, ce qui n'est pas toujours possible.

L'auteur a fait quelques mesures sur la paraffine et sur le verre.

La paraffine était étudiée par le premier procédé. Elle avait pour point de fusion 54°,5 C ; elle était sous forme d'une plaque un peu plus grande que les plaques métalliques de l'appareil et de 4,34 cm. d'épaisseur. La moyenne de plusieurs mesures a donné

$K = 2,32$ pour un champ lentement variable;
$K = 2,25$ pour un champ rapidement variable.

Le pouvoir spécifique est donc plus faible de 3 p. 100 environ pour un champ à variations rapides que pour un champ à variations lentes.

Le verre était étudié par le second procédé; chaque lame de 11,964 cm. d'épaisseur, était formée par la superposition de six lamelles. La moyenne d'un très grand nombre de mesures a donné

$K = 6,25$ pour un champ lentement variable;
$K = 5,86$ pour un champ rapidement variable.

il y a donc une diminution d'environ 6,2 p. 100 quand on passe d'un champ lentement à un champ rapidement variable.

Cette diminution est beaucoup moins grande que celle qui résulte des résultats de M. Blondlot et de M. J.-J. Thomson dans leurs recherches de la capacité inductive spécifique du verre soumis à l'influence des oscillations très rapides. M. Blondlot (1) a en effet trouvé 2,84 et M. Thomson (2), 5,7. Il est vrai que M. Thwing (3) a trouvé dans des conditions analogues 5,84 pour un miroir, ce qui conduit à 6,24 pour le verre.

J. B.

(1) Blondlot. — *Journal de physique* [2], t. X, p. 197, 1891. *Comptes rendus*, t. CXI, p. 1058, *Lum. Elect.*, t. XL, p. 442.

(2) J.-J. Thomson. — *Recent Researches in electricity and magnetism*, p. 471.

(3) Thwing. — *Physical Review*, t. II, p. 35; 1894; l'*Eclairage électrique*, t. II, p. 85.

Sur l'aimantation des fils de fer et de nickel par des oscillations électriques très rapides, par Ignaz Klemencic (¹).

Divers expérimentateurs ont établi, dans ces dernières années, que les oscillations électriques s'amortissent plus fortement dans les fils de fer que dans les fils de métaux non magnétiques. Ce puissant amortissement s'explique par une aimantation circulaire ou transversale qui empêche les oscillations électriques de pénétrer dans le fer aussi profondément que dans les autres métaux et, par suite, donne lieu à une résistance apparente considérable ayant pour effet de transformer rapidement en chaleur l'énergie de ces oscillations.

La quantité d'énergie transformée en chaleur étant proportionnelle à la résistance apparente, le rapport des quantités de chaleur dégagées dans deux fils donnera le rapport des résistances apparentes de ces fils, et de ce dernier rapport, il sera possible d'en déduire, à l'aide des formules de Lord Rayleigh et de Stéfan, la perméabilité relative des deux métaux. C'est cette méthode que l'auteur a employée pour la détermination de la perméabilité magnétique du fer et du nickel par rapport à celle du laiton qui est prise pour unité.

Ainsi qu'on le verra par les résultats indiqués plus loin, la perméabilité magnétique du fer, déterminée dans ces conditions, est comprise entre 74 et 118. Si l'on se reporte aux courbes obtenues par Bour (*Wied. Ann.* 1880) et Lord Rayleigh (*Phil. Mag.* 1887) pour représenter la variation de la perméabilité magnétique en fonction de la force magnétisante, on constate que les valeurs précédentes se rapportent à des forces magnétisantes très faibles et auxquelles correspond une perméabilité constante. L'auteur ne pense pas cependant que l'on doive adopter cette conclusion, car un calcul approché de l'intensité des forces magnétisantes mises en jeu dans ses expériences, qu'il expose à la fin de son Mémoire, indique que cette intensité est environ 100 fois plus grande que celle à partir de laquelle la perméabilité μ, d'après les courbes de Bour et de Lord Rayleigh, commence à croître. Il croit plutôt que la faiblesse des valeurs trouvées pour μ doit être attribuée à un *retard d'aimantation* (qu'on ne doit pas confondre avec l'hystérésis) qui empêche l'état magnétique du fer de suivre les variations rapides du champ magnétisant. Toutefois cette explication suppose, ainsi qu'il le fait remarquer, que les courbes de Bour et de Lord Rayleigh, obtenues pour des aimantations longitudinales, sont applicables aux aimantations transversales.

La mesure des quantités de chaleur développées dans les fils s'effectuait au moyen d'un élément thermo-électrique. La longueur des fils était de 6 cm.; leur diamètre variait de 0,45 à 0,18 mm., mais le fil magnétique étudié et le fil de laiton avaient, dans chaque expérience, le même diamètre. La disposition expérimentale était celle déjà employée dans un travail antérieur (¹).

Le tableau I donne les résultats d'une série d'expériences sur un fil de fer recuit et un de

Tableau I.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES COMPARATIVES SUR UN FIL DE FER RECUIT ET UN FIL DE LAITON

D	C	FER				LAITON				V
		ψ	α	β	$\bar{\alpha}$	ψ	α	β	$\bar{\alpha}$	
20 cm.	78,4	57,2	373	82	1447	40,0	97	77	126	**11,5**
	70,3	53,6	297	74	1269	35,0	72	85	108	**11,9**
40 cm.	»	»	220	86	815	»	58	86	62	**13,2**
	»	»	245	108	758	»	33	57	57	**13,4**
60 cm.	»	»	386	67	577	»	23	58	44	**13,0**
	»	»	450	89	508	»	34	92	86	**13,9**
Rapport des ψ = 1,48 Rapport des résistances = 1,55.						Moyenne				**12,9**

laiton; l'épaisseur de ces fils était de 0,452 mm. La résistance électrique par unité de longueur pour un courant constant était 0,0082 unité

(¹) *Wied. Ann.* t. LIII, p. 707-721; 1894.

(¹) Klemencic *Sitz. d. K. Akad. d. Wissens. in Wien*, 44, 1890.

Siemens, pour le fil de fer, de 0,0053 unité Siemens pour celui de laiton. Dans ce tableau,

α désigne la déviation du galvanomètre Thomson-Carpentier de 6,8 ohms de résistance, servant à évaluer le dégagement de chaleur dans le fil en expérience;

b, la déviation d'un galvanomètre donnant la mesure de la chaleur dégagée dans un fil de comparaison;

$\bar{\alpha}$, la valeur de la déviation α que l'on aurait pour $B = 100$;

ψ, la déviation du galvanomètre Thomson-Carpentier lorsque le fil en expérience était parcouru par un courant constant de 0,135 ampère;

C, la déviation observée quand on faisait passer dans ce dernier galvanomètre, dans un sens, puis dans l'autre, le courant fourni par une force électromotrice de $\frac{0{,}052}{50.000} \times 1{,}438$ volt; les nombres C indiquent donc la sensibilité du galvanomètre, sensibilité qui variait dans le cours d'une journée;

D désigne la distance du fil en expérience au circuit primaire parcouru par les oscillations;

V, le rapport des quantités de chaleur développées par les oscillations électriques induites dans le fil de fer et dans le fil de laiton.

Souvent l'échauffement du fil de fer était si considérable qu'il était nécessaire de réduire les déviations du galvanomètre Thomson-Carpentier, en intercalant dans son circuit une résistance convenable. Cette résistance étant enlevée lorsqu'on opérait avec le fil de laiton il faut, pour pouvoir comparer les résultats, connaître dans quel rapport la résistance intercalée diminue la déviation. Dans les expériences auxquelles se rapporte le tableau I ce rapport était 1/3,15; les nombres α correspondant aux distances $D = 20$ et $D = 40$ (pour lesquelles la résistance additionnelle a été employée) doivent donc être multipliés par 3,15; on a tenu compte de ce facteur dans le calcul des nombres α.

Dans le tableau II se trouvent résumés les résultats obtenus par l'auteur avec diverses combinaisons de fils. La première colonne donne le rapport des quantités de chaleur Q et Q' développées dans le fil magnétique et dans le fil de laiton, par un courant constant de 0,135 ampère; la seconde donne le rapport des résistances R et R' de ces fils par unité de longueur; la troisième le diamètre de ces fils en millimètres.

TABLEAU II.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DES EXPÉRIENCES

NATURE de la combinaison	$\frac{Q}{Q'}$	$\frac{R}{R'}$	*d*	V: D = 20	V: D = 40	V: D = 60	V: Moyenne
Fer recuit, laiton. .	1,48	1,55	0,452	11,5 11,9	13,2 13,4	13,0 13,9	12,9
Acier (fil de clavecin), laiton. . . .	1,54	1,57	0,452	12,1 11,4	14,6 13,2	13,2 12,6	12,8
Acier trempé, laiton	1,83	1,85	0,452	13,4 14,7	15,0 14,5	14,6 15,5	14,6
Acier Bessemer doux, laiton . . .	2,70	2,37	0,396	14,8 13,8	16,1 16,0	16,3 15,7	15,4
Acier Bessemer trempé, laiton. .	3,75	3,94	0,394	15,7 15,1	16,9 15,7	18,9 15,8	16,8
Nickel étiré, laiton.	2,20	2,10	0,452	8,1 8,1	8,1 8,0	7,6 7,4	7,9

La comparaison des nombres des deux premières colonnes du tableau II montre que les quantités de chaleur mesurées lorsque les fils sont parcourus par un courant constant sont, conformément à la théorie, très sensiblement proportionnelles aux résistances de ces fils pour un tel courant. On doit en conclure que les quantités de chaleur mesurées lorsque les fils sont parcourus par des courants oscillatoires sont également proportionnelles aux résistances qu'oppose le métal du fil à ces courants et que, par suite, V est égal au rapport de ces résistances. Or, d'après les formules de Lord Rayleigh et Stefan, on a

$$w' = w\pi a \sqrt{\frac{n\mu}{\sigma}},$$

où w est la résistance du fil pour les courants constants, w' la résistance du même fil pour un courant de fréquence n, a le rayon de ce fil, μ la perméabilité magnétique et σ la résis-

tance spécifique du métal dont il est formé. On aura donc

$$V = \frac{w}{w_1}\sqrt{\frac{\mu\sigma_1}{\mu_1\sigma}},$$

les lettres affectées de l'indice se rapportant à l'un des métaux, le laiton par exemple. Si l'on remplace le rapport des résistances w et w_1 par celui des résistances spécifiques σ et σ_1 et si l'on prend $\mu_1 = 1$ pour le laiton, il vient

$$V = \sqrt{\frac{\mu\sigma}{\sigma_1}}.$$

Cette expression permet de déterminer μ à l'aide des valeurs trouvées pour V. Mais on peut tenir compte du léger défaut de proportionnalité entre la quantité de chaleur mesurée et la résistance, défaut indiqué par la faible différence des nombres des deux premières colonnes du tableau II et poser

$$qV = \sqrt{\frac{\mu\sigma}{\sigma_1}},$$

q étant un coefficient numérique défini par la relation

$$q = \frac{\sigma}{\sigma_1}\frac{\psi_1}{\psi};$$

On a alors

$$\mu = q^2 V^2 \frac{\sigma_1}{\sigma}.$$

Le tableau III donne les valeurs de μ ainsi calculées.

Tableau III.

PERMÉABILITÉS MAGNÉTIQUES DE DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS DE FER ET D'ACIER ET DE NICKEL

NATURE DU MÉTAL		V	qV	μ
Fer doux		12,9	13,5	118
Acier (corde de clavecin)	doux	12,8	13,1	106
	dur	14,6	14,7	115
Acier Bessemer	doux	15,4	13,5	77
	dur	16,3	17,1	74
Nickel		7,9	7,5	27

Passons maintenant à la dernière partie du Mémoire, dans laquelle l'auteur cherche une valeur approchée de la force magnétisante qui entre en jeu dans ses expériences.

Si l'on appelle i l'intensité du courant variable à l'instant t, la quantité de chaleur développée par ce courant est

$$Mw'i^2dt,$$

M étant un facteur de proportionnalité. La quantité de chaleur développée pendant la durée d'une décharge complète est sensiblement égale à l'intégrale de cette quantité prise entre o et ∞ ; par conséquent, si N est le nombre de décharges par seconde, la chaleur dégagée pendant ce temps est

$$NMw'\int_0^\infty i^2dt.$$

La quantité de chaleur développée pendant le même temps par un courant constant d'intensité j est

$$Mwj^2.$$

D'après le tableau I on voit que, pour le fil de laiton et pour la distance D = 20 cm., cette dernière quantité est environ 2,5 fois plus faible que la première. Mais comme il ne s'agit que d'un calcul approximatif on peut considérer ces deux quantités comme égales et écrire

$$wj^2 = Nw'\int_0^\infty i^2dt.$$

D'autre part, on peut admettre que le courant oscillatoire est sinusoïdal; on a alors

$$i = \mathrm{I}e^{-\lambda\frac{t}{T}}\sin\frac{\pi t}{T},$$

I étant l'intensité maxima, λ le décréement logarithmique et T la durée d'oscillation. En portant cette valeur de T dans l'égalité précédente, et en y remplaçant w' par sa valeur en fonction de w on obtient

$$\frac{I_2}{j^2} = \frac{1}{\pi a}\sqrt{\frac{n\sigma}{\mu}}\frac{4\lambda}{NA^2}$$

a étant le rayon du fil. Si l'on prend

$$a = 0{,}0226 \text{ cm}, \quad \sigma = 8000, \quad N = 23,$$
$$n = 9 \times 10^7, \quad \mu = 1, \quad \lambda = 0{,}03;$$

on trouve

$$\frac{I^2}{j^2} = 58000;$$

et comme $j = 0{,}135$ ampère, il vient

$$I = 32 \text{ ampères}.$$

Si le courant était uniformément réparti sur toute la section du fil, on aurait pour la force magnétique H en un point de la surface

$$H = \frac{2I}{a} = 290 \text{ unités C. G. S.}$$

Cette hypothèse est évidemment incorrecte dans le cas des oscillations rapides employées dans les expériences de l'auteur. Toutefois celui-ci considère la valeur de la force magnétique qui en est déduite comme assez approchée. Ainsi que nous l'avons dit en commençant, cette valeur est beaucoup plus grande que celles qui correspondent à une valeur constante de la perméabilité pour une aimantation longitudinale.

J. B.

Mesure des petites résistances.

M. Pasqualini indique dans *Electricista* une nouvelle méthode de mesure des petites résistances.

Pour cette méthode on se sert d'une bobine à deux enroulements semblables, formés cha-

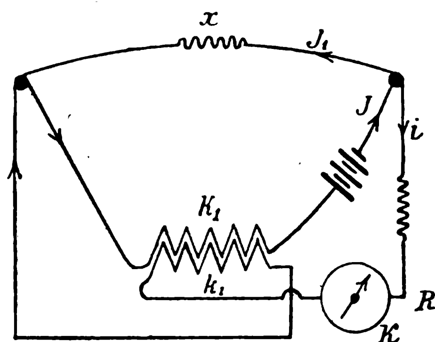


Fig. 1. — Mesure des petites résistances.

cun de quelques spires (enroulées en double). Cette bobine est fixée sur un galvanomètre ordinaire de façon qu'elle puisse faire dévier l'aiguille.

Le courant principal envoyé dans la résistance à mesurer passe dans un des enroulements comme le montre la figure ci-dessous. Une dérivation établie aux bornes de la résistance est formée par le second enroulement, le galvanomètre et une boîte de résistances.

Les connexions sont telles que le courant principal et le courant dérivé agissent sur l'aiguille en sens opposés.

On fait varier la résistance de la dérivation jusqu'à ramener la déviation du galvanomètre à zéro.

Si l'on appelle K la constante du galvanomètre, K_1 la constante exprimant l'effet de chaque enroulement de la bobine auxiliaire sur l'aiguille, I et i le courant principal total et le courant dérivé, R la résistance de la dérivation et x la résistance à mesurer, on a :

$$Ki = K_1 I - K_1 i = K_1 I_1,$$

$$\frac{K_1}{K} = \frac{i}{I_1} = \frac{x}{R},$$

$$x = \frac{K_1}{K} R.$$

La valeur des constantes s'obtient en se servant de résistances connues.

Avec une bobine formée de deux enroulements à quatre spires et un galvanomètre Wiedemann de 8 ohms de résistance, M. Pasqualini a mesuré avec 0,004 ampère une résistance de 0,0002 ohms, après avoir employé un ohm-étalon pour la détermination de la constante $\frac{K_1}{K}$.

A. H.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Les trains électriques sur l'Ouest. — La Compagnie de l'Ouest a traité avec le Syndicat Heilmann qui s'est engagé à livrer pour le mois de juin prochain, deux locomotives électriques de 110 tonnes, pouvant remorquer 200 tonnes, à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure.

Ces locomotives dont la puissance sera triple de celle qui fut essayée l'année dernière sur la ligne de Mantes, seront construites dans les ateliers de la maison Cail. Enfin, elles sont destinées à desservir la ligne de Paris-Dieppe, et la Compagnie de l'Ouest espère, à la fin du mois de juin prochain, pouvoir transporter à Dieppe, en deux

heures, les membres du Congrès des chemins de fer qui doit se tenir à Londres, à cette époque.

Paris. — Les voies publiques et les établissements municipaux éclairés à l'électricité à Paris ne sont pas aussi nombreux qu'on le croirait de prime abord. M. Ch. de Tavernier, Ingénieur en chef de la Ville, vient de publier à ce sujet un rapport auquel sont empruntés les renseignements qui suivent :

Actuellement, les voies publiques, éclairées par des lampes à arc, sont la place du Carrousel, la ligne des grands boulevards, de la Madeleine au boulevard Bonne-Nouvelle, la rue Royale, la rue Saint-Lazare, l'avenue de Clichy, les boulevards Ornano et Barbès, le parc du Champ de Mars, les quais Jemmapes et Valmy, le boulevard de la Villette, ainsi que les berges du bassin. Les galeries du Palais-Royal sont éclairées par des lampes à incandescence. A cette nomenclature doivent s'ajouter, dans un avenir plus ou moins prochain, le carreau des Halles, la place de Roubaix, l'avenue de Clichy, le square de la Tour-Saint-Jacques, le jardin des Tuileries et le Carrousel.

L'éclairage est fourni par des usines spéciales ou par diverses sociétés concessionnaires.

Les établissements municipaux, éclairés électriquement, sont au nombre de sept; cinq d'entre eux ont une usine spéciale de production : ce sont l'Hôtel de Ville, les Halles centrales, le Champ de Mars, les entrepôts de Bercy, les abattoirs et le marché de la Villette; les deux autres, c'est-à-dire la Bourse du travail et le poste de pompiers de la rue Jeanne d'Arc, sont abonnés à des sociétés particulières.

Parmi les promenades, trop peu nombreuses encore, qui sont éclairées à l'électricité, nous mentionnerons le parc Monceau, le parc des Buttes-Chaumont et le square des Batignolles.

L'éclairage électrique des voies publiques a coûté à la Ville, en 1893, environ 430.000 francs, et celui des promenades environ 72.000 francs.

Quant aux stations centrales d'énergie électrique, existant au 31 décembre 1893, elles étaient au nombre de six; elles desservaient près de 4,500 abonnés, et leur produit brut en francs dépassait 5,600,000 francs.

Barèges (Hautes-Pyrénées). — La question de l'éclairage électrique de cette station balnéaire renommée est actuellement à l'étude.

Caussade, Septfonds (Tarn-et-Garonne). — La ville de Caussade, ainsi que celle de Septfonds, seront incessamment éclairées à la lumière électrique et pourvues d'une canalisation spéciale pour la distribution de l'eau potable dans les maisons.

Le concessionnaire direct est M. Victor Fournier, qui a lui-même traité, pour l'éclairage, avec la Société alsacienne de construction mécanique.

Charleville (Ardennes). — On nous signale une petite installation montée par M. Brézol et constituée par un moteur à pétrole commandant dans le jour un moulin à farine et le soir une dynamo d'éclairage.

Dans cette région essentiellement agricole, les installations de ce genre vont bientôt être nombreuses; on y utilisera les génératrices dans la journée pour des transports de force aux machines à battre, moulins, coupe-racines, pompes et autres outils agricoles.

Luz (Hautes-Pyrénées). — Depuis quelques jours, la ville de Luz est éclairée à l'électricité.

Meximieux (Ain). — Cette petite ville sera, d'ici peu de temps, dotée d'une usine destinée à fournir l'éclairage public et particulier.

Nice. — Le tramway de Nice à Cimiez, qui vient d'être mis en service, comme nous l'avons dit récemment, est un tramway à accumulateurs. Le matériel roulant a été construit par M. G. Averly, de Lyon, et la voie, par la maison Jules Weitz, de Lyon.

Les voitures, élégantes et légères, sont recouvertes d'un toit aux surfaces inclinées, recourbées dans le style tonkinois, et ornées d'un dragon en bois sculpté; ce toit est supporté par des montants en bois, qui laissent la voiture ouverte de tous côtés; sept banquettes, garnies de lames flexibles, permettent à vingt-huit personnes d'être assises commodément; la plate-forme d'avant contient six places, ce qui porte à trente-quatre le nombre de voyageurs admis dans chaque voiture.

L'usine génératrice est pittoresquement assise dans la verdure; la cheminée en briques, de 23 mètres de hauteur, se détache heureusement sur les eucalyptus environnants.

Le bâtiment de l'usine se compose de la salle des machines, où sont installées deux machines

à vapeur de 50 chevaux, marchant à 130 tours par minute, lesquelles commandent des dynamos tournant à 900 tours par minute et capables d'engendrer un courant de 200 ampères sous la tension de 200 volts. Il y a deux tableaux, l'un pour la charge des accumulateurs, l'autre pour l'éclairage.

Le grand hall sert pour le garage des voitures et pour la manutention et la charge des accumulateurs, lesquels sont du type Laurent Cély, de la Société du Travail électrique des Métaux. Les éléments sont réunis par groupes de neuf dans des caisses en chêne. Le chargement d'une voiture se compose de dix caisses semblables, comprenant, par conséquent, 90 éléments d'accumulateurs.

Chacun des éléments contient 20 kilos de plaques et le poids total de la batterie d'une voiture est de 2.500 kilos environ, y compris le liquide et les huit caisses.

La charge des accumulateurs dure quatre heures. On peut effectuer trois voyages de vingt minutes chacun avec la charge d'une batterie.

Chaque voiture porte deux moteurs attaquant les essieux par l'intermédiaire d'engrenages à double réduction de vitesse. Il y a en outre un frein électrique et un frein mécanique de sûreté, à patins, agissant sur les rails; toutes les précautions ont été prises pour la sécurité, en raison de la descente assez rapide du boulevard de Cimiez.

Pont-à-Mousson. — En raison du traité existant entre la ville et la Compagnie du gaz, le Conseil municipal de cette ville a décidé d'accorder à M. Fabius Henrion pour une période non déterminée, et non pour une période de trente-cinq ans comme sa demande le comportait, l'autorisation, en tous points conforme aux conditions imposées à la Société d'électricité actuellement existante, d'établir à ses risques et périls des fils aériens pour la transmission de l'énergie électrique.

Sur une nouvelle demande de M. Henrion tendant à doter la ville d'un éclairage électrique meilleur et plus économique que l'éclairage au gaz, le Conseil a nommé une commission pour étudier cette importante question.

La traction électrique en Portugal. — La première ville de la Péninsule qui sera desservie par un tramway électrique sera, avant très peu de temps, celle de Porto.

Après une vive compétition, la Compagnie Thomson-Houston l'a remporté sur les compagnies allemandes, grâce aux garanties qu'elle a pu donner de son matériel. Néanmoins, pour bien en éprouver la valeur, la ville de Porto a tenu à ce que le premier essai fût fait sur la ligne présentant le plus de difficultés, où les rampes atteignent 10 p. 100 et où les courbes sont nombreuses.

La longueur de la ligne est de 2.800 mètres. Elle sera desservie au moyen de 3 voitures munies chacune de 2 moteurs de 25 chevaux. Ces moteurs seront alimentés par une dynamo de 100 kilowatts commandés par une machine Farcot de 150 chevaux.

La construction de la station centrale est très avancée, et la ligne sera posée d'ici peu.

Explosion de grisou causée par la foudre. — Il y a déjà un grand nombre de causes connues et néfastes des explosions de grisou dans les puits de mines. Mais l'on n'avait pas encore entendu parler, croyons-nous, de celle que relate l'*Echo des mines et de la métallurgie*, c'est-à-dire une explosion de grisou causée par la foudre.

Voici comment notre confrère relate cet accident, survenu au puits Scott, dans une mine de la Nouvelle-Ecosse.

Ce puits a une profondeur de 226 pieds (68 m. 90) jusqu'à la seconde couche, qui a une épaisseur de 12 pieds (3 m. 65) et est exploitée sur une hauteur de 8 pieds (2 m. 45). Le seul travail exécuté dans cette couche avait été l'organisation de deux galeries en plan incliné pour recouper la veine, galeries d'une longueur de 1,000 pieds (305 m.).

Par suite de l'insuffisance de production de vapeur des chaudières, on avait suspendu cette opération et mis en chômage le puits Scott. Antérieurement, la mine était aérée au moyen d'un ventilateur; mais, pour faire des économies de vapeur, l'eau devenant rare, on arrêta le ventilateur et on se contenta de la ventilation naturelle. Bien que la couche fût très grisouteuse, il ne semblait y avoir aucun danger à laisser les choses en l'état, tant que l'extraction ne serait pas reprise.

Inopinément vint à passer au voisinage de la houillère un violent orage : la foudre tomba sur le bâtiment d'administration, démolit la façade, atteignit en même temps les poulies en fer du puits et, par le câble d'extraction en acier, descendit dans la mine, où elle provoqua l'explosion du mélange détonant d'air et de grisou.

Le coup de tonnerre et l'explosion souterraine s'entendirent en même temps et, le bouleversement fut tel, la galerie de ventilation et le ventilateur furent tellement détériorés que tout examen du fond devint impossible. A tort ou à raison, on craignit le feu dans la mine, et, faute de mieux, on s'empressa de boucher le puits.

Emploi de l'aluminium par les statuaires. — La statue la plus élevée du monde sera certainement celle de William Penn, dont la *Revue scientifique* annonce l'érection au sommet du dôme du nouvel Hôtel de Ville de Philadelphie, à 152 mètres audessus du sol.

La statue, coulée en bronze d'aluminium, mesure 11 m. 15 de hauteur et pèse 30 tonnes ; elle a été mise en place au moyen d'échafaudages spéciaux, par sections horizontales réunies ensuite entre elles au moyen de boulons placés à l'intérieur, et elle est fixée à son support — une plaque de bronze d'aluminium de 1.800 kilos — par 30 boulons de 0 m. 075 répartis sur les semelles de chaussures et sur la base du tronc d'arbre contre lequel s'appuie le célèbre législateur.

Analyse électro-chimique. — Pour la séparation du mercure et du cuivre, Smith et Spencer recommandent l'électrolyse d'une solution des cyanures de ces métaux : Concentration de la solution 0,05 à 0,1 p. 100 de cuivre, 0,05 à 0,1 de mercure, 0,5 à 1 p. 100 de cyanure de potassium. Densité de courant = 0,06 à 0,08 ampères par centimètre carré. Température 65 à 70°. Durée de l'électrolyse, 3 à 4 heures.

Les cyanures sont également proposés pour séparer le cadmium de l'argent. Concentration : 0,05 p. 100 Ag, 0,05 p. 100 Cd, 1,5 p. 100 KCy. Densité du courant, 0,04 ampère par centimètre carré. Température, 65°. Durée, trois heures et demie.

La téléphonie en Russie. — Jusqu'en 1885 le gouvernement russe a accordé dans onze grandes villes russes des concessions de vingt ans pour l'exploitation de réseaux téléphoniques. A la fin de la concession les réseaux passent aux mains de l'État, sans indemnité ; en outre, l'État prélève 10 p. 100 du bénéfice net. On n'a pas depuis lors accordé de nouvelles concessions parce que l'État a entrepris lui-même la création de réseaux. Les prix d'abonnement y sont de 200 à 400 francs, lorsque la distance du bureau est inférieure à 2 kilomètres, de 50 à 100 francs pour chaque kilomètre, en plus. A Saint-Pétersbourg et à Moscou les abonnés payent, au-dessous de 3 kilomètres de distance, 1.000 francs, au-dessus, 200 francs en plus par kilomètre. Dans les autres réseaux privés les taxes sont de 400 à 600 francs au-dessous de 3 kilomètres, et de 45 à 75 francs par kilomètre en sus.

Les villes de Zarskoe-Sselo, Gatschina, Petershof et Krassnoe-Sselo seront reliées téléphoniquement avec Saint-Pétersbourg. Les abonnés de ces villes pourront communiquer entre eux sans payer de taxe supplémentaire.

Un concert téléphonique interurbain. — Le mois dernier, un grand nombre d'habitants de Temesvar étaient réunis dans une salle pour entendre un concert d'un nouveau genre. Les divers numéros du programme ont été exécutés par des artistes se trouvant dans des villes différentes et à grande distance de Temesvar.

Un récepteur était suspendu à mi-hauteur dans la salle, et dans toutes les parties de celle-ci on a pu entendre avec une grande netteté. C'est ainsi qu'on a entendu les chansons populaires chantées par Illavacs à Budapest, c'est-à-dire à 300 kilomètres de distance. Ensuite s'est fait entendre la Société chorale de Szegedin, puis l'orchestre militaire d'Arad, ainsi que les chants de tziganes exécutés à Szabadka. Mais l'enthousiasme des assistants a atteint le comble quand la prima donna du théâtre d'Arad a chanté devant le téléphone le grand air de la *Traviata*, dont les moindres détails ont été entendus avec une netteté admirable.

Le concert s'est terminé par un bal aux sons d'un orchestre jouant à Szabadka ; mais on n'a entendu que les premières mesures, le reste s'est perdu dans le bruit fait par les danseurs.

Le ministre du commerce de Hongrie, qui assistait à cette expérience très curieuse, et qui avait mis à la disposition des organisateurs les lignes téléphoniques, s'est proposé de faire renouveler ce concert interurbain.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2e Année. Samedi 23 Mars 1895. N° 12.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CALCUL APPROCHÉ DES EFFETS DE CAPACITÉ DES BOBINES

Les effets dus à la capacité qui peuvent être assez importants dans les bobines à fil double servant à former les boîtes de résistance (1) subsistent encore quoique à un degré moindre dans les enroulements alternés qui ont été proposés. On les retrouve aussi dans les bobines ordinaires où, dans certains cas, ils peuvent l'emporter sur les effets de self-induction de façon à donner à la bobine un coefficient apparent de self-induction négatif (2). Lorsqu'on veut les prévoir par le calcul on éprouve de sérieuses difficultés.

Dans le cas du double enroulement on traite le problème en remplaçant la bobine par l'ensemble des deux fils déroulés qui ont servi à la former et que l'on suppose à la même distance, ce qui revient à ne considérer sur une spire que l'action d'une seule des spires qui l'entourent.

Si l'on appelle γ la capacité du condensateur formé par les deux fils par unité de longueur, ρ la résistance par unité de longueur, on aura, à la distance x, un condensateur γdx, qui sera en dérivation sur une résistance $2x\rho$. — On sait que l'effet de ce condensateur en dérivation équivaut à une self-induction négative

$$-\gamma dx(2x\rho)^2 = 4\rho^2x^2dx,$$

et l'effet total équivaudra à

$$\int_0^l 4\rho^2x^2dx = \frac{1}{6}\gamma\rho^2l^2 = \frac{1}{6}\frac{\gamma}{\rho}a^2,$$

$a = \rho l$ étant la résistance du fil.

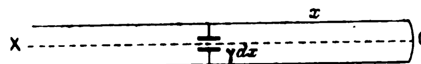


Fig. 1.

Cette approximation tout à fait insuffisante ne permet pas, en tout cas, de se rendre compte de ce qui se passe dans les autres modes d'enroulement.

Je me suis proposé de trouver une méthode de calcul plus approchée et qui pourra s'appliquer à tous les cas. Je ferai les hypothèses suivantes :

1° L'effet sur une spire (o) des spires voisines est la somme des effets dus à chacune d'elles ;

2° Les seules spires dont l'action sur (o) est efficace sont celles qui la touchent ;

3° J'admettrai que le potentiel reste le même le long d'une spire et varie simplement d'une spire à la suivante.

(1) KOHLRAUSCH, *Annalen*, 1885 ; BRILYNSKY, *Annales télégraphiques*, 1888 ; CHAPERON, *Comptes rendus*, 1889 ; CAURO. *Comptes rendus*, 1889.

(2) CAURO, *loco cit.*

Soient :

ρ la résistance du fil par mètre;
n le nombre des spires par couche;
n' le nombre des couches;
$2f$ la longueur de la bobine;
g et h les rayons intérieur et extérieur;
$dx = \frac{2f}{n}$ la distance des centres de 2 spires;
$dy = \frac{h-g}{n'}$ la distance des centres de 2 couches;
γ la capacité par unité de longueur de 2 spires contiguës;
γ' la capacité par unité de longueur de 2 spires en diagonale.

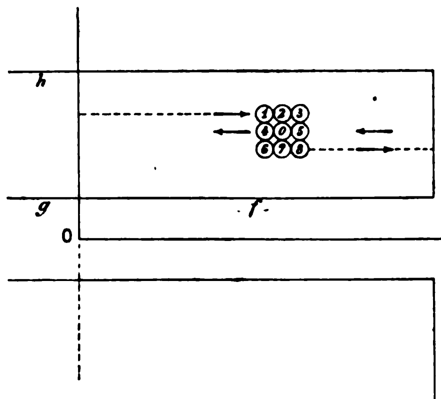


Fig. 2.

J'étudierai successivement :

1° L'enroulement alterné Chaperon : on enroule de gauche à droite avec un sens de rotation; on revient de droite à gauche avec le sens inverse. Cet enroulement ne diffère de l'enroulement ordinaire que par ce fait qu'on alterne le sens de rotation des couches. Comme cette alternance ne change pas la capacité, on aura calculé du même coup la capacité des bobines d'induction ordinaires à un fil;

2° Un enroulement alterné nouveau : On enroule de gauche à droite avec un sens de rotation; on revient par un fil rectiligne à la même extrémité; on repart avec le sens de rotation inverse, etc.;

3° L'enroulement double ordinaire.

I

CAPACITÉ DANS L'ENROULEMENT ALTERNÉ CHAPERON ET DANS LES BOBINES D'INDUCTION ORDINAIRES

La spire (0) constitue avec la spire (7) un condensateur cylindrique excentrique dont la longueur est $2\pi y$ et la capacité $2\pi y\gamma$. Ce condensateur est en dérivation sur la résistance qui sépare les deux spires et qui est égale à

$$\frac{f-x}{dx}\left[2\pi(y-dy)+2\pi y\right]\rho,$$

puisqu'il y a $\frac{f-x}{dx}$ spires de longueur $2\pi(y-dy)$ et $\frac{f-x}{dx}$ spires de longueur $2\pi y$. Son effet est représenté par

$$(7) \qquad 2\pi\gamma y\left[\rho\frac{f-x}{dx}\left[2\pi(y-dy)+2\pi y\right]\right]^2.$$

Elle constitue avec (2) un condensateur de capacité $2\pi\gamma y$, en dérivation sur une résistance représentée par $\frac{f+x}{dx}$ spires de rayon y, et $\frac{f+x}{dx}$ spires de rayon $y+dy$. En tout, cette résistance est égale à

$$\rho\frac{f-x}{dx}\left[2\pi y+2\pi(y+dy)\right],$$

et l'effet sera représenté par

$$(2) \qquad -2\pi\gamma y\left[\rho\frac{f+x}{dx}\left[2\pi y+2\pi(y+dy)\right]\right]^2;$$

Je mets le signe — parce que (0) est à un potentiel inférieur à (2).

Ensemble :

$$2\pi\gamma y\left[\rho\frac{f-x}{dx}\left(2\pi(y-dy)+2\pi y\right)\right]^2-2\pi\gamma y\left[\rho\frac{f+x}{dx}\left(2\pi y+2\pi(y+dy)\right)\right]^2,$$

ou,

$$-2\pi\gamma y\rho^2\cdot\frac{4\pi^2}{dx^2}\left[-(f-x)^2(2y-dy)^2+(f+x)^2(2y+dy)^2\right]$$

ou encore, en remplaçant $\frac{1}{dx}$ par $\frac{n}{2f}$,

$$(7 \text{ et } 2) \quad -8\pi^2\gamma\rho^2 \frac{n^2}{f^2} y \left[2ydy(y^2+x^2)+fx(4y^2+dy^2)\right].$$

La spire (0) constitue avec (6) un condensateur de capacité $2\pi\gamma' y$, en dérivation sur une résistance formée de $\frac{f-x}{dx}+1$ spires de rayon $y-dy$ et de $\frac{f-x}{dx}$ spires de rayon y : c'est-à-dire égale à

$$\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx}+1\right)2\pi(y-dy)+\frac{f-x}{dx}2\pi y\right].$$

L'effet sera représenté par

$$(6) \quad 2\pi\gamma' y\rho^2\left[\left(\frac{f-x}{dx}+1\right)2\pi(y-dy)+\frac{f-x}{dx}2\pi y\right]^2 = 8\pi^3\rho^2\gamma' y\left[\left(\frac{f-x}{dx}+1\right)(y-dy)+\frac{f-x}{dx}y\right]^2.$$

De même l'effet de (8) sera représenté par

$$2\pi\gamma' y\rho^2\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)2\pi(y-dy)+\frac{f-x}{dx}y\right]^2 = 8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f-x}{dx}y\right]^2.$$

L'effet de (6) et (8) ensemble sera représenté par

$$8\pi^3\rho^2\gamma' y\left[\left[\left(\frac{f-x}{dx}+1\right)(y-dy)+\frac{f-x}{dx}y\right]^2+\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f-x}{dx}y\right]^2\right],$$

ou encore

$$8\pi^3\rho^2\gamma' y\left[\left[\frac{f-x}{dx}(2y-dy)+(y-dy)\right]^2+\left[\frac{f-x}{dx}(2y-dy)-(y-dy)\right]^2\right],$$

$$(6 \text{ et } 8) \quad 16\pi^3\rho^2\gamma' y\left[\left(\frac{f-x}{dx}\right)^2(2y-dy)^2+(y-dy)^2\right].$$

(3) forme avec (0) un condensateur de capacité $2\pi\gamma' y$ et mis en dérivation sur la résistance qui sépare les deux spires. Cette résistance est formée par $\frac{f+x}{dx}$ spires de rayon y et $\frac{f+x}{dx}+1$ spires de rayon $y+dy$. Elle est égale à

$$\rho\left[\frac{f+x}{dx}2\pi y+\left(\frac{f+x}{dx}+1\right)2\pi(y+dy)\right],$$

et l'effet sera représenté par :

$$-2\pi\gamma' y\rho^2\times 4\pi^2\times\left[\left(\frac{f+x}{dx}+1\right)(y+dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]^2 = -8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\frac{f+x}{dx}(2y+dy)+y+dy\right]^2.$$

(1) forme avec (0) un condensateur de capacité $2\pi\gamma' y$, en dérivation sur une résistance

$$2\pi\rho\left[\left(\frac{f+x}{dx}-1\right)(y+dy)+\frac{f+x}{dx}y\right].$$

L'effet sera représenté par

$$-2\pi\gamma' y\rho^2 4\pi^2\left[\left(\frac{f+x}{dx}-1\right)(y+dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]^2 = -8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\frac{f+x}{dx}(2y+dy)-(y+dy)\right]^2.$$

Donc les spires (3) et (1) ensemble donneront comme effet

$$-8\pi^2\gamma'\rho^2 y\left[\left[\frac{f+x}{dx}(2y+dy)+y+dy\right]^2+\left[\frac{f+x}{dx}(2y+dy)-(y+dy)\right]^2\right]$$

(3 et 1) $$=-16\pi^2\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{f+x}{dx}\right)^2\left(2y+dy\right)^2+\left(y+dy\right)^2\right]$$

Si nous considérons à la fois l'effet de (6) et (8) et de (3) et (1), nous trouvons :

$$16\pi^2\rho^2\gamma' y\left[\left(\frac{f-x}{dx}\right)^2\left(2y-dy\right)^2+\left(y-dy\right)^2\right]-16\pi^2\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{f+x}{dx}\right)^2\left(2y+dy\right)^2+\left(y+dy\right)^2\right]$$

$$=-16\pi^2\rho^2\gamma' y\left[\left(\frac{f+x}{dx}\right)^2\left(2y+dy\right)^2-\left(\frac{f-x}{dx}\right)^2\left(2y-dy\right)^2+\left(y+dy\right)^2-\left(y-dy\right)^2\right]$$

$$=-16\pi^2\rho^2\gamma' y\,\frac{1}{dx^2}\left[\left(f+x\right)^2\left(2y+dy\right)^2-\left(f-x\right)^2\left(2y-dy\right)^2\right]-64\pi^2\rho^2\gamma' y^2 dy\ ;$$

mais puisque $\frac{1}{dx}=\frac{n}{2f}$, il vient

$$=-16\pi^2\rho^2\gamma' y\times\frac{n^2}{4f^2}\times\left[8y\,dy\,(f^2+x^2)+4fx\,(4y^2+dy^2)\right]-64\pi^2\rho^2\gamma' y^2 dy$$

(6, 8, 3, 1) $$=-16\pi^2\rho^2\frac{n^2}{f^2}\gamma' y\left[2y\,dy\,(f^2+x^2)+fx\,(4y^2+dy^2)\right]-64\pi^2\rho^2\gamma' y^2 dy.$$

Les effets de (4) et (5) sur (0) sont égaux et contraires, puisque les différences de potentiel sont égales et contraires et que la résistance est la même.

En tout, on aura les effets de (7) et (2) :

$$-8\pi^2\gamma\rho^2\frac{n^2}{f^2}y\left[2y\,dy\,(f^2+x^2)+fx\,(4y^2+dy^2)\right],$$

et ceux de (6), (8), (3), (1) réunis :

$$-16\pi^2\gamma'\rho^2\frac{n^2}{f^2}y\left[2y\,dy\,(f^2+x^2)+fx\,(4y^2+dy^2)\right]-64\pi^2\gamma'\rho^2 y^2 dy\ ;$$

c'est-à-dire

$$8\pi^2\rho^2\frac{n^2}{f^2}(\gamma+2\gamma')y\left[2y\,dy\,(f^2+x^2)+fx\,(4y^2+dy^2)\right]-64\pi^2\gamma'\rho^2 y^2 dy\ ;$$

ou, comme

$$dy=\frac{h-g}{n'},$$

$$-8\pi^2\rho^2\frac{n^2}{f^2}(\gamma+2\gamma')y\left[2y\,dy\,(f^2+x^2)+fx\left(4y^2+\frac{(h-g^2)}{n'^2}\right)\right]-64\pi^2\gamma'\rho^2 y^2 dy$$

qui représente l'effet de toutes les spires sur la spire (0).

Multiplions par dx et divisons par $dx=\frac{2f}{n}$, il vient

$$-4\pi^2\rho^2\frac{n^2}{f^2}(\gamma+2\gamma')y\left[2y\,(f^2+x^2)\,dy+fx\left(4y^2+\frac{(h-g)^2}{n'^2}\right)\right]dx-64\pi^2\gamma'\rho^2\frac{n}{2}y^2\,dy\,dx.$$

Il nous suffira, pour avoir l'effet de la bobine entière, d'intégrer d'abord, par rapport à x, puis par rapport à y (le contour d'intégration étant un rectangle).

Intégrons par rapport à x :

$$-4\pi^2\rho^2\frac{n^2}{f^2}(\gamma+2\gamma')\left[2y^2 dy\int_{-f}^{+f}(f^2+x^2)\,dx+f\left(4y^2+\frac{h-g}{n'^2}\right)\int_{-f}^{+f}x\,dx\right]-64\pi^2\gamma'\rho^2\frac{n}{2f}y^2\,dy\int_{-f}^{+f}dx$$

Le second terme donne o. Le premier donne

$$\left[f^2x + \frac{x^3}{3}\right]_{-f}^{+f} = \frac{f^3}{3}$$

le dernier donne $2f$, donc

$$-4\pi^3\rho^2\frac{n^3}{f^3}(\gamma + 2\gamma')\,2y^2\,dy \times \frac{8f^3}{3} - 64\pi^3\gamma'\rho^2\frac{n}{2f}y^2\,dy \times 2f$$

$$= -\frac{64}{3}\pi^3\rho^2 n^3(\gamma + 2\gamma') - 64\pi^3\gamma'\rho^2 n y^2 dy.$$

Intégrons par rapport à y :

$$-\frac{64}{3}\pi^3\rho^2n^3(\gamma + 2\gamma')\int_g^h y^2\,dy - 64\pi^3\gamma'\rho^2 n\int_g^h y^2\,dy$$

$$-\frac{64}{9}\pi^3\rho^2n^3(\gamma + 2\gamma')(h^3 - g^3) - \frac{64}{3}\pi^3\gamma'\rho^2 n(h^3 - g^3)$$

$$\Gamma = -\frac{64}{9}\pi^3\rho^2n^3(h^3 - g^3)\left(\gamma + 2\gamma' + \frac{3\gamma'}{n^2}\right)$$

Appelons R la résistance de la couche supérieure composée de n spires de rayon h,

$$R = \rho n\,2\pi h;$$

R' la résistance de la couche inférieure

$$R' = \rho n\,2\pi g;$$

il vient

$$\Gamma = -\frac{8}{9}\frac{1}{\rho}\left(R^3 - R'^3\right)\left(\gamma + 2\gamma' + \frac{3\gamma'}{n^2}\right)$$

Si n est assez grand, le dernier terme peut être négligé :

$$\Gamma = -\frac{8}{9}\left(R^3 - R'^3\right)\left(\frac{\gamma + 2\gamma'}{\rho}\right).$$

II

EFFETS DE LA CAPACITÉ DANS L'ENROULEMENT ALTERNÉ NOUVEAU

J'applique la même méthode :

(7) constitue avec (o) un condensateur de

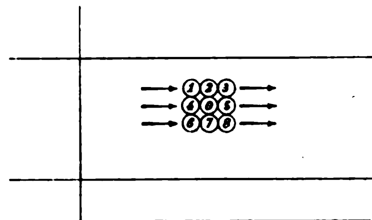


Fig. 3.

capacité $2\pi\gamma y$, en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\frac{f - x}{dx}2\pi(y - dy) + \frac{f + x}{dx}2\pi y\right],$$

c'est-à-dire

$$2\pi\rho\frac{1}{dx}\left[2fy - (f - x)\,dy\right];$$

ou, comme

$$dx = \frac{2f}{n},$$

$$\pi\rho\frac{n}{f}\left[2fy - (f - x)\,dy\right],$$

et l'effet est représenté par

$$2\pi\gamma y \times \left[\pi\rho\frac{n}{f}\left[2fy - (f - x)\,dy\right]\right]^2;$$

ou encore

$$2\pi^3\gamma\rho^2 y\frac{n^2}{f^2}\left(2fy - (f - x)\,dy\right)^2$$

(2) constitue avec (o) un condensateur de capacité $2\pi\gamma y$, en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\frac{f - x}{dx}2\pi y + \frac{f + x}{dx}2\pi(y + dy)\right] = 2\pi\rho\frac{1}{dx}\left[2fy + (f + x)\,dy\right];$$

ou encore :

$$\pi\rho\frac{n}{f}\left[2fy + (f + x)\,dy\right]$$

L'effet est représenté par

$$-2\pi\gamma y\left[\pi\rho\frac{n}{f}\left[2fy + (f + x)\,dy\right]\right]^2$$

ou

$$-2\pi^3\gamma\rho^2\frac{n^2}{f^2}y\left[2fy + (f + x)\,dy\right]^2.$$

L'effet de (7) et (2) sera représenté par

$$2\pi^2\gamma\rho^2 y \frac{n^2}{f^2}(2fy + xdy - fdy)^2 - 2\pi^2\gamma\rho^2 \frac{n^2}{f^2} y\,(2fy + xdy + fdy)^2,$$

ou.

$$-8\pi^2\gamma\rho^2 \frac{n^2}{f^2} y\,(2fy + xdy) \times fdy = -8\pi^2\gamma\rho^2 \frac{n^2}{f} y\,(2fy + xdy)\,dy,$$

et comme

$$dy = \frac{h-g}{n'}$$

(7 et 2) $$-8\pi^2\gamma\rho^2 \frac{n^2}{f} y\,\left(2fy + x\frac{h-g}{n'}dy\right).$$

(1) constitue avec (o) un condensateur de capacité $2\pi\gamma' y$, en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\frac{f-x}{dx}2\pi y + \left(\frac{f+x}{dx} - 1\right)2\pi\,(y+dy)\right] = 2\pi\rho\left[\frac{f-x}{dx}y + \left(\frac{f+x}{dx} - 1\right)(y+dy)\right].$$

L'effet sera représenté par

$$-2\pi\gamma' y\left[2\pi\rho\left[\frac{f-x}{dx}y + \left(\frac{f+x}{dx} - 1\right)(y+dy)\right]\right]^2 = 8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\frac{2fy + (f+x)\,dy}{dx} - (y+dy)\right]^2.$$

(3) constitue avec (o) un condensateur $2\pi\gamma' y$ en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\frac{f-x}{dx}2\pi y + \left(\frac{f+x}{dx} + 1\right)2\pi\,(y+dy)\right] = 2\pi\rho\left[\frac{f-x}{dx}y + \left(\frac{f+x}{dx} + 1\right)(y+dy)\right].$$

L'effet sera représenté par

$$-2\pi\gamma' y\left[2\pi\rho\left[\frac{f-x}{dx}y + \left(\frac{f+x}{dx} + 1\right)(y+dy)\right]\right]^2 = -8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\frac{2fy + (f+x)\,dy}{dx} + y + dy\right]^2.$$

L'effet de (1) et (3) sera représenté par

$$-8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left[\frac{2fy + (f+x)\,dy}{dx} - (y+dy)\right]^2 + \left[\frac{2fy + (f+x)\,dy}{dx} + y + dy\right]^2\right],$$

c'est-à-dire

(1 et 3) $$-16\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{2fy + xdy + fdy}{dx}\right)^2 + (y+dy)^2\right].$$

(6) constitue avec (o) un condensateur de capacité $2\pi\gamma' y$, en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx} + 1\right)2\pi\,(y-dy) + \frac{f+x}{dx}2\pi y\right],$$

c'est-à-dire

$$2\pi\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx} + 1\right)(y-dy) + \frac{f+x}{dx}y\right].$$

L'effet sera représenté par

$$2\pi\gamma' y \times 4\pi^2\rho^2\left[\left(\frac{f-x}{dx} + 1\right)(y-dy) + \frac{f+x}{dx}y\right]^2,$$

ou

$$8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{f-x}{dx} + 1\right)(y-dy) + \frac{f+x}{dx}y\right]^2.$$

(8) constitue avec (o) un condensateur $2\pi\gamma' y$, en dérivation sur une résistance

$$\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)2\pi(y-dy)+\frac{f+x}{dx}2\pi\rho\right]=2\pi\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f+x}{dx}y\right].$$

L'effet sera représenté par

$$2\pi\gamma' y\left[2\pi\rho\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]\right]^2=8\pi^3\rho^2\gamma' y\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]^2.$$

(6) et (8) ensemble donneront

$$8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left[\left(\frac{f-x}{dx}+1\right)(y-dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]^2+\left[\left(\frac{f-x}{dx}-1\right)(y-dy)+\frac{f+x}{dx}y\right]^2\right],$$

ou

$$8\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left[\frac{2fy-(f-x)\,dy}{dx}+y-dy\right]^2+\left[\frac{2fy-(f-x)\,dy}{dx}-(y-dy)\right]^2\right].$$

$$\text{(6 et 8)}\qquad =16\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left[\frac{2fy+xdy-fdy}{dx}\right]^2+\left[y-dy\right]^2\right].$$

L'effet de (6) et (8) et de (1) et (3) réunis donne donc

$$16\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{2fy+xdy-fdy}{dx}\right)^2+(y-dy)^2\right]-16\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[\left(\frac{2fy+xdy+fdy}{dx}\right)^2+(y+dy)^2\right]$$
$$=-16\pi^3\gamma'\rho^2 y\left[4fdy\left(\frac{2fy+xdy}{dx^2}\right)+4ydy\right];$$

comme $$dx=\frac{2f}{n},$$

il vient, $$=-16\pi^3\gamma'\rho^2 y\frac{f^2}{n^2}y\,(2fy+xdy)\,dy-64\pi^3\gamma'\rho^2 y^2 dy.$$

Les effets de (4) et (5) s'annulent, la capacité étant la même, ainsi que la résistance, et les différences de potentiel étant de sens inverse.

On aura donc en tout, pour l'action sur la spire (o)

$$-8\pi^3\gamma\rho^2\frac{n^2}{f}y\left(2fy+x\frac{h-g}{n'}\right)dy-16\pi^3\gamma'\rho^2\frac{f^2}{n^2}y\left(2fy+x\frac{h-g}{n'}\right)dy-64\pi^3\gamma'\rho^2 y^2\,dy$$
$$=-8\pi^3(\gamma+2\gamma')\rho^2\frac{n^2}{f}\left(2fy+x\frac{h-g}{n'}\right)y\,dy-64\pi^3\gamma'\rho^2 y^2\,dy.$$

Je puis multiplier par dx et diviser par $dx=\dfrac{2f}{n}$; il vient

$$-8\pi^3(\gamma+2\gamma')\rho^2\frac{n^3}{2f^2}\left(2fy+x\frac{h-g}{n'}\right)y\,dy\,dx-64\pi^3\gamma'\rho^2\frac{n}{2f}y^2\,dy\,dx$$

Il suffira alors d'intégrer par rapport à x et par rapport à y successivement :

$$-4\pi^3(\gamma+2\gamma')\rho^2\frac{n^3}{f^2}y\left[2fy\,dy\int_{-f}^{+f}dx+\frac{h-g}{n'}y\,dy\int_{-f}^{+f}xdx\right]+32\pi^3\gamma'\rho^2\frac{n}{f}y^2\,dy\int_{-f}^{+f}dx$$

$$=-16\pi^3(\gamma+2\gamma')\rho^2 n^3 y^2\,dy-64\pi^3\gamma'\rho^2\frac{n}{f}y^2\,dy.$$

Intégrons par rapport à y :

$$-16\pi^2(\gamma+2\gamma')\rho^2 n^2\int_g^h y^2\,dy - 64\pi^2\gamma'\rho^2 n\int_g^h y'\,dy.$$

En tout

$$\Gamma = -16\pi^2\left(\gamma+2\gamma'+\frac{4\gamma'}{n^2}\right)\rho^2 n^2\,\frac{h^3-g^3}{3};$$

ou en introduisant les résistances R et R' des couches extrêmes

$$\Gamma = -\frac{2}{3}\frac{1}{\rho}\pi^2\left(\gamma+2\gamma'+\right)\frac{4\gamma'}{n^2}\left(R^3-R'^3\right);$$

ou, négligeant $\frac{\gamma'}{n^2}$ vis à-vis de γ et γ' :

$$\Gamma = -\frac{2}{3}\left(\frac{\gamma+2\gamma'}{\rho}\right)\left(R^3-R'^3\right),$$

Dans l'enroulement Chaperon, on avait trouvé

$$\Gamma = -\frac{8}{9}\left(\frac{\gamma+2\gamma'}{\rho}\right)\left(R^3+R'^3\right),$$

c'est-à-dire les $\frac{4}{3}$ de celui-ci.

III

EFFETS DE LA CAPACITÉ DANS L'ENROULEMENT DOUBLE ORDINAIRE

Je considère les 2 fils marchant côte à côte; je marque en noir l'un des fils.

Je suppose que les fils (1), (3), (6), (8) sont

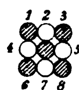


Fig. 4.

sensiblement au même potentiel que (o), car la résistance entre ces fils et (o) est négligeable vis-à-vis de la résistance entre (o) et les fils de nature différente.

Pour la même raison, je considère les fils (2), (4), (5), (7) comme étant de même potentiel — la résistance entre ces fils et (o) étant $2z\rho$, z étant la longueur de chacun des fils déroulé jusqu'à la boucle. On aura donc l'effet sur une longueur dz de 4 condensateurs γdz sur une résistance $2z\rho$.

Si on se reporte au calcul rappelé au commencement, on verra que l'effet total sera :

$$4\int_0^{\frac{l}{2}}\gamma dz\,(2\rho z)^2 \quad = \quad \frac{4}{6}\frac{\gamma}{\rho}a^3$$

a étant la résistance totale du fil.

J. CAURO,
Préparateur à l'École polytechnique
et à l'École de pharmacie.

DÉFINITION UNITAIRE DE LA MASSE

CAPACITÉ POUR LE MOUVEMENT.

SYSTÈME ABSOLU DE GRANDEURS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES APPLICABLE A TOUS LES PHÉNOMÈNES

Introduction. — Une tendance des plus caractérisées d'un certain esprit scientifique moderne, c'est la timidité avec laquelle on se sert de la raison pour la recherche des principes, et l'abus que l'on en fait quand il s'agit d'échafauder, sur des faits d'expérience ou sur des hypothèses, des combinaisons mathématiques quelquefois très ingénieuses, mais le plus souvent stériles au point de vue physique. L'abus de la formule est devenu excessif, et on oublie trop facilement qu'elle n'est, en définitive, que le vêtement de l'idée, qu'un langage, et qu'elle ne redonne jamais que les hypothèses qu'on y a mises. J'ai pu lire, par exemple, en toutes lettres, la phrase suivante: On démontre par l'analyse mathématique que le frottement entre deux filets liquides est proportionnel à la différence de leurs vitesses. Comme si l'analyse pouvait établir un fait d'expérience. Et combien d'auteurs, pour citer un second exemple, admettent implicitement que le poids de la terre est Mg! M étant la masse de la terre, et g l'accélération de la pesanteur!

Actuellement encore, les notions newtoniennes de masse et de force, toute géniales qu'elles ont été, ne sont pas établies nettement, et la mécanique rationnelle, magnifique

recueil d'exercices et de théorèmes mathématiques, devient insuffisante ou inapplicable, quand il s'agit des phénomènes dits moléculaires.

Entre ces deux travers de l'esprit, entre ces réactions extrêmes, qui nous portent soit à nous confiner par trop exclusivement dans le domaine de l'expérimentation, soit à nous complaire dans les spéculations de la philosophie naturelle et de la métaphysique, il est un état d'équilibre que l'on réalise en remontant des faits aux lois, des lois aux principes, et en redescendant pour recommencer de nouvelles évolutions.

Telle est la marche normale du progrès scientifique. Les lois sont plus exactes que les mesures, et les principes que les lois.

A cet égard, l'étude des dimensions est un instrument incomparable. Comme je l'ai montré dans des études antérieures, elle atteint les principes mêmes de la science. Les équations des dimensions traduisent directement les lois physiques, elles ne se prêtent pas à certaines « variations mathématiques », et on ne peut y introduire que les grandeurs physiques qui doivent y figurer, après en avoir bien précisé, en conséquence, le sens et la portée.

Masse, force et accélération, dans la mécanique newtonienne. — Si nous prenons par exemple les trois grandeurs : masse, force, accélération, que l'on trouve à la base de la mécanique newtonienne, nous observons qu'il n'en est qu'une : l'accélération, dont le sens physique ne nous échappe pas.

Effectivement, il est possible d'écrire l'équation homogène entre grandeurs *concrètes*

$$(1) \qquad \frac{(F)}{(F')} = \frac{(\gamma)}{(\gamma')},$$

qui exprime que les forces sont entre elles comme les accélérations qu'elles impriment à une même masse, car on peut faire le rapport de deux grandeurs concrètes de même nature, telles que (F) et (F′), ou (γ) et (γ′), mais, on ne saurait, comme on le fait encore dans le but de chercher à définir la masse, écrire

$$(2) \qquad \frac{(F)}{(\gamma)} = \frac{(F')}{(\gamma')} = (m)$$

car on ne peut poser ces équations que si (F) et (γ) sont des grandeurs de même nature, auquel cas (*m*) est un simple coefficient.

S'il n'en est pas ainsi, le rapport $\frac{(F)}{(\gamma)}$ ne signifie rien. La masse, telle qu'on la conçoit encore aujourd'hui, n'a donc pas de sens physique. Elle n'intervient que comme une quantité algébrique dans l'équation algébrique

$$\frac{F}{\gamma} = \frac{F'}{\gamma'} = m.$$

Bien qu'elle soit corroborée par l'observation, quand elle intervient dans la mécanique rationnelle, la notion de force qui est d'ailleurs corrélative de celle de masse d'après les équations (2) n'est pas plus nette que celle-ci.

Au surplus, si l'on dit que deux forces sont entre elles comme les accélérations qu'elles impriment à une même masse, on pourrait dire aussi, par exemple, que deux forces constantes sont entre elles non seulement comme les accélérations qu'elles impriment à une même masse, mais encore comme les vitesses qu'elles font acquérir, ou les espaces qu'elles font parcourir, pendant le même temps, à cette même masse.

Quant à l'accélération, son sens physique est très net, mais sa formule la rend variable avec le temps choisi pour unité, et on évitera bien des confusions en observant que dans l'accélération comme dans la vitesse, le véritable terme physique de ces expressions algébriques, c'est l'espace parcouru. Algébriquement, la vitesse, par exemple, est le quotient d'une longueur par un temps, mais physiquement, un pareil rapport n'a pas de sens, et on ne peut concevoir la vitesse que comme une longueur : quotient d'une longueur par un nombre (le nombre d'unités de temps, contenu dans le temps envisagé). On ferait la même observation pour l'accélération.

Je dois arrêter ces constatations qui expli-

quent et justifient la nécessité d'une transformation, d'une adaptation nouvelle de certaines méthodes.

Qu'il me soit permis, en terminant cette introduction, de faire remarquer, au préalable, que le présent mémoire est une étude de physique et non de mathématique ou de métaphysique.

Principe de dualité, définition de la masse. — Mouvement et matière, tels sont les deux termes primordiaux de la physique.

Pour la mécanique ils deviennent : mouvement et résistance au mouvement.

On admet généralement que la résistance au mouvement provient de la matière, de son inertie.

Dans des études antérieures, j'ai été conduit à admettre que la résistance au mouvement ne peut provenir que d'un autre mouvement.

Et, partant de là, je suis arrivé à une conception unitaire de la masse. La masse doit être envisagée non comme la quantité de matière, ce qui ne nous apprend rien, mais comme la capacité pour le mouvement de la matière.

Cette capacité pour le mouvement est en rapport direct avec la résistance au mouvement dont elle est un des facteurs.

Lorsque, par exemple, des corps sont soumis à l'action d'un champ capable de leur imprimer une accélération γ, pour les déplacer il faut vaincre cette accélération γ, dans la proportion où elle les affecte. Cette proportion c'est la masse M. La résistance est proportionnelle à $M\gamma$.

Tout mouvement s'appuie sur une résistance et réciproquement, et cette observation est intimement liée au principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

L'équilibre résulte non de l'absence de tout mouvement, mais de la concomitance de deux mouvements qui se contrebalancent.

Ce principe de dualité ne doit jamais être perdu de vue, et c'est sur lui que reposent, en définitive, les équations de la dynamique dans lesquelles on écrit l'antagonisme des forces actives et des forces d'inertie résistantes, comme s'il s'agissait d'un problème de statique.

Dans l'attraction newtonienne les masses sont proportionnelles aux accélérations qu'elles impriment à une même distance à tous les corps

$$\frac{m_1}{g_1} = \frac{m_2}{g_2} = \ldots\ldots = KR^2.$$

Le principe de dualité pour l'action de m_1 sur m_2 donne

$$\text{force résistante } m_1 g_2 = \text{force résistante } m_2 g_1$$

et l'on définit ainsi le phénomène beaucoup plus nettement qu'en disant que les forces sont proportionnelles au produit des masses ou ce qui revient au même au produit des accélérations imprimées à une même distance.

Il ne faut pas grouper dans une seule et même formule l'action et la réaction.

J'ai donné, en outre, dans un mémoire antérieur inséré dans la *Lumière électrique* un postulatum que je considère comme attaché au principe de l'égalité de l'action et de la réaction, et qui m'a conduit notamment à déterminer les dimensions du pôle magnétique. Ce postulatum est le suivant : Lorsque deux centres physiques agissent l'un sur l'autre, il faut qu'ils soient similaires.

Ce postulatum appelle naturellement l'idée d'un échange de mouvement entre les deux centres.

Enfin, je suis arrivé à cette conclusion que la force, contrairement à ce que l'on suppose souvent, n'a pas de point d'application spécial. Le point d'application de la force est là où est la résistance. Tels sont les principes que je dois énoncer tout d'abord.

L'énergie. — Ces deux termes : mouvement et résistance au mouvement conduisent à la notion de travail que l'on mesure algébriquement par le produit de la résistance et du mouvement.

Dans la mécanique ordinaire la résistance au mouvement est la force Mg et le mouvement est linéaire. Je vais, quoique sous une forme un peu différente, rappeler les principes sur lesquels repose cette mécanique.

Lorsqu'un corps animé d'une vitesse déterminée est absolument libre, il se meut en ligne droite et conserve sa vitesse. C'est là une des formes du grand principe de conservation, c'est la conservation de la quantité de mouvement mv dont on fait application dans le choc des corps, par exemple.

Que l'on modifie la vitesse de ce corps de dv, il en résultera une impulsion $mdv = m\frac{dv}{dt}dt$, à laquelle le corps résistera proportionnellement à la *force* $m\frac{dv}{dt}$.

Le travail élémentaire est $m\frac{dv}{dt}vdt$ et son intégrale donne la force vive qui renferme le carré de la vitesse, ce qui pouvait se concevoir, *à priori*, car l'espace parcouru ne mesure pas seul le travail, attendu que pour le consommer il faut encore éteindre la vitesse.

L'énergie a donc pour dimensions $\frac{ML^2}{T^2}$, elle constitue le terme ultime de tous les phénomènes, et toutes les équations physiques doivent traduire en dernière analyse sa conservation.

Energies, stationnaire, linéaire, superficielle, volumétrique. — Dans la mécanique ordinaire on n'envisage que les mouvements linéaires, mais on est conduit à étudier également dans la mécanique physique, les mouvements en surface, les mouvements en volume, et les mouvements ou « énergies stationnaires » pour employer une expression due à Clausius.

On entrevoit déjà qu'il y a quatre mécaniques, celle de l'énergie stationnaire; celle de l'énergie rapportée à la longueur ou force qui se fait en composant des longueurs (c'est la mécanique ordinaire); celle de l'énergie rapportée à la surface ou force superficielle (appelée tension superficielle en capillarité), que l'on ferait en composant des surfaces; celle de l'énergie rapportée au volume ou pression que l'on établirait sur la composition des volumes.

Les dimensions des grandeurs physiques afférentes à ces quatre mécaniques découlent de celles de l'énergie $\frac{ML^2}{T^2}$, et comme l'énergie est mesurée par le produit d'une résistance et d'un mouvement, les dimensions de cette résistance seront pour

1° pour le mouvement stationnaire : $\frac{ML^2}{T^2}$ énergie ;

2° pour le mouvement linéaire : $\frac{ML}{T^2}$ force ordinaire.

3° pour le mouvement en surface : $\frac{M}{T^2}$ tension superficielle.

4° pour le mouvement en volume : $\frac{M}{T^2L}$ pression.

Et l'on retrouve ainsi les grandeurs physiques : énergie, force ordinaire (énergie rapportée à la longueur), force superficielle, dite tension superficielle (énergie rapportée à la surface), force volumétrique ou pression (énergie rapportée au volume).

Système absolu de grandeurs physiques. — Ainsi que je l'ai montré dans des mémoires antérieurs, on obtient toutes les grandeurs mécaniques par une double différentiation. Il en est de même ici et l'on obtient de la sorte le système suivant ;

ML^2	ML	M	$\frac{M}{L}$
$\frac{ML^2}{T}$	$\frac{ML}{T}$	$\frac{M}{T}$	$\frac{M}{LT}$
$\frac{ML^2}{T^2}$	$\frac{ML}{T^2}$	$\frac{M}{T^2}$	$\frac{M}{LT^2}$
(1)	(2)	(3)	(4)

Les colonnes (1), (2), (3), (4) correspondent respectivement à la mécanique du point, de la ligne, de la surface, du volume.

On obtient les dimensions de la colonne (1) en multipliant celles de la colonne (2) par L, celles de la colonne (3) par L^2, celles de la colonne (4) par L^3.

Et ce quadruple système dans sa très grande simplicité donne les dimensions de toutes les grandeurs mécaniques, astronomiques et phy-

siques qui conduisent à la dimension unique. $\frac{ML^2}{T^2}$ de l'énergie.

$\frac{ML^2}{T}$, par exemple, correspond au moment de la quantité de mouvement ou au moment d'un aimant.

$\frac{ML}{T}$ s'applique à la quantité de mouvement ou au pôle d'un aimant.

$\frac{ML}{T^2}$ à la force ou à la force électromotrice.

$\frac{M}{T}$ au débit ou à l'intensité d'un courant.

$\frac{M}{T^2}$ à la tension superficielle ou à la force électromotrice en un point.

$\frac{M}{LT}$ au champ.

$\frac{M}{LT^2}$ à la pression.

Il serait facile de multiplier les exemples, car ce système est absolument général, et je ne puis, dans le présent mémoire, le justifier complètement en passant en revue tous les phénomènes physiques.

Enfin, si l'on se reporte à ce que j'ai dit plus haut sur la manière dont il convient d'interpréter l'introduction du temps dans les expressions algébriques des grandeurs physiques, et si l'on applique la relation

$$M = L = Q$$

M masse, Q quantité d'électricité, qui traduit l'unité des forces physiques et que j'ai déjà donnée et démontrée à plusieurs reprises, on en conclura que l'unique et dernière expression de l'énergie s'obtient en multipliant ML^2 de la colonne (1) ou L^3 par un coefficient numérique correspondant à la pression.

Et comme un volume L^3 peut se traduire lui-même en nombre après avoir pris comme unité un certain volume, on en conclura que l'énergie, produit d'un volume par une pression, peut être exprimée, comme d'ailleurs toutes les grandeurs physiques, par un nombre.

Application à la capillarité. — Je terminerai le présent mémoire par une première application à la capillarité.

Envisageons un élément ω de la surface capillaire. Si cet élément se déplaçait normalement à cette surface d'une quantité ε, l'énergie correspondant à ce déplacement, serait en appelant N la pression normale sur cet élément

$$(a) \qquad N\omega\varepsilon = \text{pression} \times \text{variation de volume.}$$

La variation de surface de l'élément ω serait dans la même hypothèse (voir M. J. Bertrand, *Journal de Liouville*, IX, 117, 1844)

$$\omega\varepsilon\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

R et R' étant les rayons de courbure principaux; l'énergie correspondante serait, en appelant F la tension superficielle

$$(b) \qquad F\omega\varepsilon\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = \text{tension superficielle} \times \text{variation de surface}$$

L'équilibre de la surface capillaire résulte de la concomitance et de l'égalité de ces deux énergies

$$N\omega\varepsilon = F\omega\varepsilon\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

On en déduit immédiatement

$$N = F\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

Toute la capillarité repose sur cette relation que l'on obtient ainsi très facilement.

Cette démonstration est en outre un exemple de la méthode par laquelle on peut introduire l'énergie dans la statique, au moyen d'un déplacement virtuel qui tend à se produire, mais ne se produit pas en raison de l'équivalence dans l'équilibre des forces active et résistante et des énergies virtuelles correspondantes.

CLAVENAD,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI
DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES
AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE [1]

CHAPITRE V (*Suite*).

RÉFRACTION ET RÉFLEXION TOTALE.

37. *Réflexion totale.* — Avec un prisme dont la base est un triangle rectangle isocèle, et qui est formé de paraffine ou de soufre, j'ai obtenu de la façon la plus évidente, le phénomène de la réflexion totale. Puisque les indices de ces deux substances, pour les radiations électriques, sont plus grandes que $\sqrt{2}$, l'angle limite est aussi, pour elles, moindre que 45°, et un prisme rectangulaire doit donner l'effet que donne un prisme de verre, à réflexion totale, avec les radiations lumineuses.

Dans les prismes que j'ai employés, les faces du dièdre droit sont carrées et ont 17 cm. de côté; elles pourraient, naturellement, être beaucoup plus grandes; mais avec ces faibles dimensions, ils donnent de bons résultats, principalement avec les appareils II, pourvu qu'on limite convenablement, au moyen d'un diaphragme DE (fig. 19) ayant une ouverture de 14 cm. de diamètre, le faisceau des radiations qui émanent de l'oscillateur O.

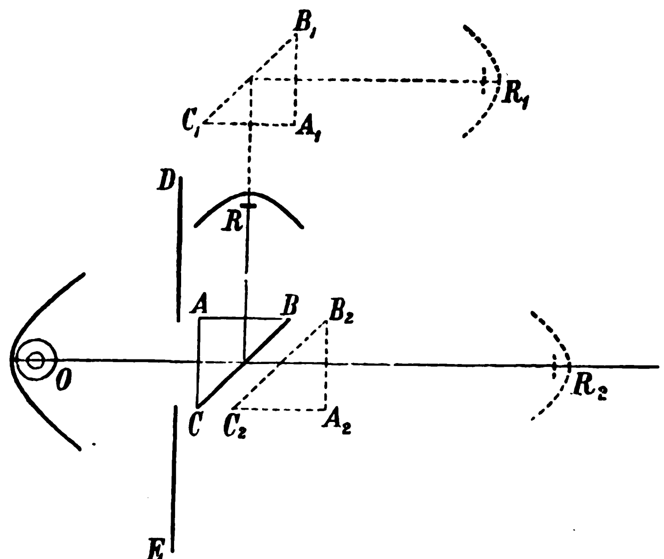


Fig. 19. — Réflexion totale. Disposition expérimentale.

Le prisme ABC reçoit les radiations normalement, sur une des faces AC de l'angle droit. Si le résonnateur est en R_2, il ne s'y produit aucune étincelle; il en est de même quand on le déplace latéralement dans un sens quelconque. Au contraire, le résonnateur donne de vives étincelles, tout comme il le ferait en R_2 si le prisme ABC était supprimé, quand on le place en R, c'est-à-dire devant la seconde face de l'angle droit du prisme. On a donc sur la face hypoténuse BC, la réflexion totale. Il suffit d'appliquer la main ou mieux une épaisse lame diélectrique sur la face BC pour que les étincelles diminuent, c'est-à-dire pour que la réflexion ne soit plus totale.

On peut ajouter un second prisme $A_1B_1C_1$

[1] Voir l'*Eclairage électrique*, mars 1895, p. 495.

disposé de telle façon que, après une seconde réflexion totale, les radiations prennent une direction parallèle à la direction OR_2 qu'elles avaient primitivement. Le résonnateur sera placé, dans ce cas, en R_1. Si la distance entre les deux prismes est suffisamment grande, on peut supprimer sans inconvénient le diaphragme DE.

Des phénomènes intéressants se manifestent lorsqu'on met à la suite du prisme ABC un second prisme de forme égale $A_2B_2C_2$, de façon que, lorsque les deux faces hypoténuses se touchent, les deux prismes forment un cube.

Si les deux faces BC et B_2C_2 sont suffisamment éloignées, rien n'est changé dans l'expérience; les étincelles sont toujours très vives en R et nulles en R_2. Mais si l'on diminue peu à peu la distance entre les deux prismes, on voit les étincelles en R diminuer d'intensité au fur et à mesure, tandis que des étincelles de plus en plus vives s'observent en R_2. Quand les deux prismes sont très voisins, les étincelles disparaissent complètement en R et atteignent leur plus grande intensité en R_2. Les deux prismes, bien qu'ils ne soient pas en contact, mais seulement très rapprochés, se comportent donc comme un cube entier.

La distance entre BC et B_2C_2 pour laquelle l'influence du second prisme commence à se manifester est d'environ 5,3 cm. quand on emploie les appareils II, pour lesquels $\lambda = 10,6$ cm. Cette distance est donc sensiblement égale à la moitié d'une longueur d'onde.

Il résulte de ces expériences que, dans les phénomènes de réflexion et de réfraction à la surface de séparation de deux corps différents, ils prennent part l'un et l'autre pour une épaisseur qui, dans le cas de l'expérience décrite, est d'au moins une demi-longueur d'onde. Du reste, un phénomène analogue s'observe en optique, lorsqu'on met en contact les faces hypoténuses de deux prismes de verre à réflexion totale ([1]).

([1]) QUINCKE. *Pogg, Ann.*, t. 127, p. 1, 199.

On peut donc supposer que la très faible réflexion produite par une lame diélectrique très mince, comme une lame de paraffine ou de soufre beaucoup plus mince que les lames P_1 et S_1 (§ 20), tient non seulement à l'interférence entre les radiations réfléchies par la première face et celles réfléchies à l'intérieur une ou plusieurs fois, mais encore à un affaiblissement réel de chaque réflexion.

J'ai donné, à l'expérience de la réflexion totale, une autre forme qui rappelle le phénomène optique bien connu de la fontaine lumineuse de Colladon.

On emploie, dans cette expérience, un long

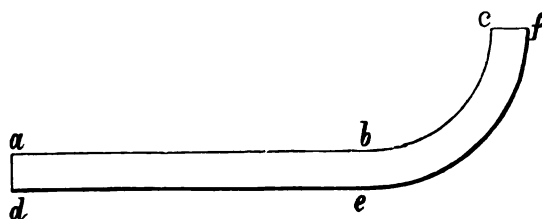


Fig. 20.

bloc de paraffine, en partie droit et en partie courbe, obtenu par la fusion dans un tube de la forme *abcfed* (fig. 20). La largeur et la profondeur du tube sont de 8 cm.; la partie *ab* avait 80 cm., et les quadrants *ef*, *bc* avaient respectivement 40 cm. et 32 cm. de rayon. La longueur totale, depuis *ad* jusqu'à *cf*, du bloc de paraffine était donc d'environ 136 cm. L'oscillateur III se place en face d'une des faces extrêmes, *ad* ou *cf*, et le résonnateur correspondant en face de l'autre. Dans ces conditions, on voit de vives étincelles dans le résonnateur, bien que les radiations parcourent dans la paraffine une distance beaucoup plus grande que celle à laquelle les appareils III cessent d'être sensibles. Elles sont si vives qu'on peut affirmer que l'expérience réussirait même avec un parcours plus grand dans la paraffine.

Si l'on applique la main ou un autre corps étranger au contact de la partie *ef* de la paraffine, les étincelles cessent complètement, comme on pouvait le prévoir. En outre, un

résonnateur, même très sensible, ne s'excite pas si on le place près de la paraffine dans une autre partie que celle qui a été supposée. Il convient cependant de recourir à la précaution de placer entre la paraffine et l'oscillateur un diaphragme métallique, muni d'une ouverture plus petite que la face par laquelle les radiations doivent pénétrer dans la paraffine. Sans cette précaution, le résonnateur pourrait être excité directement par l'oscillateur.

L'expérience réussit très bien avec le même bloc de paraffine, lorsqu'on emploie les appareils I ou II. Naturellement, avec ces appareils, on peut répéter l'expérience avec une colonne diélectrique de très grande longueur.

38. *Polarisation par réflexion totale.* *Construction de prismes à plusieurs réflexions totales.* — On sait que quand un rayon de lumière polarisée subit la réflexion totale, sa phase change, et que ce changement est différent selon que le plan de polarisation est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion. Il en résulte une certaine différence de phase entre les deux composantes de la vibration réfléchie, quand la vibration incidente est inclinée sur le plan de réflexion, et la lumière réfléchie totalement est, en général, à vibrations elliptiques.

Si δ est la différence de phase lorsque la réflexion totale a lieu sous l'angle d'incidence i dans un corps d'indice n, il existe entre ces quantités la relation suivante (¹) :

$$4n^2 \sin^2 i = \left(n^2 + i\right)\left(1 + \cos\delta\right) \pm \sqrt{\left(1 + \cos\delta\right)\left[\left(n^2 + 1\right)^2\left(1 + \cos\delta\right) - 8n^2\right]},$$

Cette relation permet de calculer la valeur de l'angle d'incidence i nécessaire pour produire une certaine différence de phase δ entre les deux composantes de la vibration.

Si la vibration incidente est inclinée à 45° sur le plan de réflexion, elle se décompose en deux composantes égales entre elles, l'une directe dans le plan de réflexion et l'autre perpendiculaire; et si, en outre, l'angle i est tel que l'on ait

$$\delta = \frac{\pi}{2},$$

c'est-à-dire que la différence de phase entre les deux composantes corresponde à une différence de marche d'un quart d'onde, le rayon réfléchi devient à vibration circulaire.

C'est de cette façon que Fresnel obtint par réflexion totale, des rayons à vibration circulaire, et c'est aussi de cette façon qu'on parvient à obtenir des rayons de force électrique à vibration circulaire. Pour obtenir des rayons à vibration elliptique, il suffit de disposer l'expérience de façon que l'amplitude des deux composantes cesse d'être égale, en inclinant la vibration incidente d'un angle différent de 45°.

Si dans la formule ci-dessus, on fait

$$\delta = \frac{\pi}{2},$$

pour que les valeurs de i soient réelles, il faut qu'on ait

$$\left(n^2 + 1\right)^2 > 8n^2.$$

Aucun des corps transparents qui se prêtent à l'expérience n'a un indice dont la valeur satisfasse à cette inégalité; les indices $n = 1,43$ et $n = 1,87$ de la paraffine et du soufre pour les ondes électriques, ne la satisfont pas non plus; il est donc impossible d'obtenir la polarisation circulaire avec une réflexion totale. Fresnel avait recours à deux, trois ou plus réflexions totales, avec un plan d'incidence commun, en donnant à i une valeur telle que δ fût égal à la moitié, au tiers, etc., de $\frac{\pi}{2}$: j'ai dû agir de même pour employer les deux diélectriques en question.

Avec la paraffine, il faut employer au moins trois réflexions totales, et avec le soufre, il suffit d'en employer deux.

(¹) BILLET, *Traité d'optique physique*, t. II, p. 112.

En effet, si $\delta = \frac{\pi}{4}$, il faut qu'on ait, pour que la racine soit réelle,

$$\left(n^2 + 1\right)^2 \left(1 + \cos\frac{\pi}{4}\right) > 8n^2.$$

ce qui a lieu si l'on prend pour n la valeur de l'indice du soufre, et non si l'on prend la valeur de l'indice de la paraffine. J'ai donc construit un bloc de paraffine de forme prismatique dont la base est un trapèze isocèle ABCD (fig. 21) et un bloc de soufre de forme prismatique dont la base est un parallélogramme EFGH. Le prisme de soufre fut laissé tel qu'il était sorti du moule, mais celui de paraffine fut soigneusement corrigé afin que ses faces fussent parfaitement planes et lisses, et qu'elles eussent exactement les inclinaisons réciproques voulues.

Dans le prisme de paraffine, les rayons parallèles à aA, bb_1, cB, pénètrent normalement par la face AB, subissent en Ab_2c_2 une première réflexion totale, sous une incidence i égale évidemment à l'angle BAD, se réfléchissent à nouveau totalement en $a_3b_3c_3$, puis une troisième fois en a_4b_4D; enfin, ils sortent normalement de la face CD.

Dans le second, les rayons parallèles, dE, ce_1, fF, qui entrent normalement par la face EF, subissent une première réflexion totale en Ee_2f_2, une seconde en d_3e_3G, puis ils sortent normalement de la face GH.

Les deux prismes agissent donc exactement comme les parallélipipèdes de Fresnel.

Voici comment j'ai procédé pour calculer leurs dimensions :

Pour le prisme de paraffine ABCD, j'ai d'abord calculé l'angle i, en posant dans la formule, $\delta = \frac{\pi}{6}$ et $n = 1{,}43$. En raison du double signe, on obtient les deux valeurs $i = 67°{,}45'$ et $i = 46°{,}52'$. En optique, on choisit la plus grande de ces deux valeurs, afin d'avoir une moindre dispersion. N'ayant pas ici un semblable motif de préférence, j'ai adopté la valeur $i = 46°{,}52'$ parce que, à égalité de grandeur des faces d'entrée et de sortie des radiations, le prisme a, dans ces conditions, un plus petit volume que si l'on adoptait l'autre valeur de i.

Représentons par a la longueur des côtés AB et CD du trapèze; on reconnaît d'après la figure 21, que la hauteur a pour expression :

$$a_3\text{L} = a \sin i\,;$$

les longueurs respectives des bases seront

$$\text{AD} = 4\text{AL} - \text{B}a_3, \qquad \text{BC} = 2\text{AL} + \text{B}a_3.$$

Or,

$$\text{AL} = a\frac{\sin^2 i}{\cos i}, \qquad \text{B}a_3 = \text{AL} - a\cos i\,;$$

donc

$$\text{AD} = a\,\frac{3\sin^2 i + \cos^2 i}{\cos i},$$

$$\text{BC} = a\,\frac{3\sin^2 i - \cos^2 i}{\cos i}.$$

Dans le prisme que j'ai employé, $a = 27{,}2$; il vient donc :

$$a_3\text{L} = 19{,}86 \text{ cm.}, \qquad \text{AD} = 82{,}14 \text{ cm.}, \qquad \text{BC} = 44{,}98 \text{ cm.}$$

Comme la hauteur du prisme dont le trapèze ABCD est la base, est égale à a, le volume a pour valeur :

$$\frac{3a^3 \sin^2 i}{\cos i} = 34.320 \text{ cm}^3.$$

Avec le cylindre de soufre, on doit faire dans la formule $\delta = \frac{\pi}{4}$ et $n = 1{,}87$, et l'on obtient $i = 33°{,}49'$ ou $i = 62°{,}34'$.

J'ai adopté la valeur $i = 62°{,}34'$. Les faces de pénétration et d'émergence des radiations sont carrées, et avaient 23 cm. de côté ; les côtés EF et GH du parallélogramme EFGH ont une longueur $a = 23$ cm. La hauteur d_3M et les grands côtés du parallélogramme sont donnés par les formules

$$d_3\text{M} = a \sin i, \qquad \text{EH} = \frac{2a \sin^2 i}{\cos i}$$

et le volume du prisme est

$$\text{V} = \frac{2a^3 \sin^3 i}{\cos i}.$$

Avec les valeurs adoptées pour a et i, on trouve

$d_3M = 20.4$ cm., $EH = 78.7$ cm., $V = 36.940$ cm³.

Telles sont les dimensions que j'ai données aux deux prismes avec lesquels j'ai effectué les expériences décrites dans le paragraphe suivant.

39. *Production des rayons de force électrique polarisés circulairement ou elliptiquement.* — Pour obtenir un rayon polarisé circulairement, il faut placer un des prismes (fig. 21) devant l'oscillateur, de telle façon que les radiations qui émanent de son réflecteur, tombent normalement sur la face AB ou sur la face EF du prisme. En face du côté CD ou

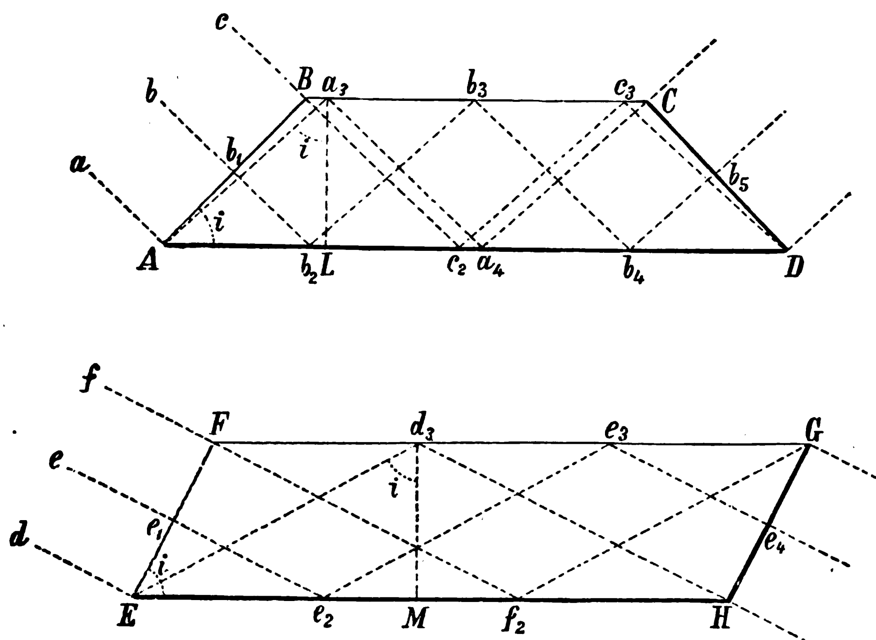


Fig. 21. — Prismes à plusieurs réflexions totales.

du côté GH, on place le résonnateur de façon que son axe de rotation soit perpendiculaire à cette face et dans la direction des radiations qui émergent du prisme. Si l'on emploie le prisme de soufre à deux réflexions, les radiations qui émergent de la face GH sont parallèles aux vibrations incidentes ; il peut donc arriver que le résonnateur soit excité par les radiations qui passent autour du prisme sans le pénétrer. Pour les éliminer, il suffit de placer entre l'oscillateur et le prisme, assez près de celui-ci, un large diaphragme métallique ayant une ouverture de même dimension que la face EF et placé en face de celle-ci. Le diaphragme est inutile avec le prisme à trois réflexions, ce qui est un léger avantage. Mais, outre cela, le prisme de paraffine est supérieur au prisme de soufre par la netteté et la précision des phénomènes qu'il produit.

Après avoir ainsi disposé l'un ou l'autre des deux prismes, on incline l'oscillateur de façon que son axe de figure fasse un angle de 45° avec le plan de la base du prisme, plan auquel est parallèle le plan de la réflexion qui a lieu dans ce prisme. Si on observe les étincelles du résonnateur, et en même temps si l'on fait tourner celui-ci autour de son axe, on reconnaît que les étincelles y conservent une intensité constante. C'est précisément ce qu'on devait observer si, en raison des réflexions totales dans le prisme, les radiations émer-

geant de celui-ci étaient polarisées circulairement.

Si les radiations polarisées circulairement qui émergent du prisme sont dirigées sur un autre prisme construit pour transformer un rayon à vibration rectiligne en un rayon à vibration circulaire, on obtient la transformation inverse, et à la sortie de ce second prisme, la radiation est à nouveau rectiligne et inclinée à 45° sur le plan des réflexions.

L'expérience peut être exécutée, par exemple, en faisant d'abord pénétrer les radiations dans le prisme de soufre ; puis ensuite dans le prisme de paraffine. Le résonnateur, qui reçoit les radiations à la sortie du second prisme, donne de vives étincelles quand il est incliné à 45° avec le plan des réflexions, tandis qu'en l'éloignant angulairement de cette orientation, les étincelles deviennent de plus en plus faibles.

Un des prismes décrits peut donc servir à reconnaître si un rayon de force électrique est polarisé circulairement; il m'a servi dans ce but pour l'expérience du paragraphe 32.

Si dans l'expérience décrite plus haut, les vibrations qui pénètrent dans le prisme forment avec le plan des réflexions totales un angle de 0° ou de 90°, la radiation doit rester rectiligne, par raison de symétrie. L'expérience confirme cette déduction, puisque le résonnateur, sauf l'intensité de l'effet produit, se comporte comme si tout le prisme recevait directement les radiations de l'oscillateur.

Si les vibrations incidentes font avec le plan des réflexions un angle compris entre 0° et 90°, et diffèrent de 45°, le rayon émergent doit être à vibration elliptique. Un des axes de l'ellipse doit être parallèle et l'autre perpendiculaire au plan de réflexion, l'ellipse étant d'autant plus allongée que la valeur de cet angle est plus voisine de 0° ou de 90°. Si cet angle est plus petit que 45°, le grand axe de l'ellipse sera parallèle au plan de réflexion ; s'il est plus grand que 45°, il sera perpendiculaire à ce plan.

Toutes ces déductions sont d'accord avec l'expérience. Sauf quand les vibrations incidentes font un angle très voisin de 0° ou de 90° avec le plan d'incidence, auxquels cas il est difficile de reconnaître si les vibrations sont elliptiques ou rectilignes, dans tous les autres cas, le résonnateur donne des étincelles quel que soit l'azimuth dans lequel il est placé ; ces étincelles ont un maximum d'intensité quand le résonnateur est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion, et un minimum quand il est dans un azimuth rectangulaire avec celui du maximum.

Un second prisme placé après le premier, rétablit la polarisation rectiligne. Les vibrations émergentes seront donc rectilignes et inclinées sur le plan des réflexions, d'un angle égal et de signe contraire à celui formé avec le même plan par les vibrations incidentes, ce qui se vérifie exactement. L'analogie avec les phénomènes optiques est donc complète encore dans ce cas.

CHAPITRE VI

TRANSMISSION DES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES A TRAVERS LES DIÉLECTRIQUES.

40. *Diminution d'intensité des radiations due à l'interposition d'une lame diélectrique.* — Quand on place une lame diélectrique à faces parallèles entre l'oscillateur et le résonnateur, on note en général une légère diminution des étincelles qui s'observent dans le second de ces appareils, diminution qui, dans beaucoup de cas, peut être considérée comme due seulement à la réflexion. Cependant, pour quelques corps, cette diminution est si considérable qu'on doit l'attribuer en partie à une absorption produite par le diélectrique sur les oscillations électriques.

Il faut, dans ces expériences, disposer les appareils de façon que les phénomènes décrits dans le paragraphe 25 ne puissent se produire.

Dans ce but, ou l'on emploiera une lame diélectrique suffisamment grande pour qu'elle reçoive tout le faisceau de radiations émises par le miroir de l'oscillateur, ou bien quand la

lame a de petites dimensions, on couvrira avec elle l'ouverture d'un grand diaphragme métallique placé entre l'oscillateur et le résonnateur. Cette ouverture peut être de quelques centimètres seulement de diamètre, quand les distances du diaphragme à l'oscillateur et au résonnateur sont faibles, sans que les étincelles cessent dans ce dernier.

Pour avoir une idée de l'effet produit par différents diélectriques, on mesure l'angle de rotation α du résonnateur capable de produire l'extinction des étincelles avant l'introduction du diélectrique, puis l'angle analogue β, après que le diélectrique est mis en place. Le rapport $\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}$ est égal au rapport des intensités d'oscillation dans les deux cas. Voici les valeurs de ces rapports pour différents diélectriques.

Ebonite (épaisseur 4 cm.), *paraffine* (épaisseur 17 cm.), *sel gemme* (épaisseur 5 cm. environ). On n'obtient aucune différence sensible entre α et β; dans quelques cas, même, β semble être un peu plus grand que α, ce qui peut être attribué à l'élimination incomplète des phénomènes décrits au paragraphe 25.

Soufre (épaisseur 2,5 cm.), *mica* (épaisseur 0,17 cm.); donnent pour le rapport $\frac{\cos\beta}{\cos\beta}$ la valeur. 0,9

Verre à miroir (épaisseur 0,8 cm.) [1] donne la valeur. 0,63

Une pile de *lames de verre* à photographie (2 cm.). 0,9

Gomme laque (épaisseur 1,5 cm.) . 0,8

Porcelaine (épaisseur 0,5 cm.). . . 0,7

Marbre (épaisseur 2 cm.). 0,6

Sélénite (épaisseur 1 cm.). . . . 0,56

Quartz normal à l'axe (épaisseur 0,8 cm.). 0,6

Vase d'ébonite contenant une couche de 1 cm. *d'huile d'olive*. 0,77

Vase d'ébonite contenant une couche de 1 cm. de *benzine*. 0,95

Vase d'ébonite contenant une couche de 1 cm. de *sulfure de carbone*. . 0,96

Le grand affaiblissement des radiations produit par le verre à miroir est digne de remarque, de même que l'effet à peu près nul produit par le sel gemme et par l'ébonite, car ces deux corps se comportent d'une manière analogue vis-à-vis des radiations calorifiques. On serait donc tenté d'admettre que l'effet produit par le verre à miroir et par les autres corps qui se comportent d'une façon analogue est, au moins en partie, dû à une absorption: mais il est facile de se convaincre que les expériences précédentes ne suffisent pas pour autoriser une telle conclusion.

En réalité, considérons particulièrement la façon dont se comporte le verre. Nous avons vu (§ 20) que ce corps réfléchit les radiations avec une intensité relativement grande, même lorsqu'il est pris en lames minces, et quoique ce phénomène ne puisse à présent être expliqué, il en résulte néanmoins que les radiations transmises doivent nécessairement être moins intenses que les radiations incidentes.

D'autre part, il est évident qu'on ne peut juger de l'action relative des différents diélectriques pris sous forme de lames minces, car, en raison des interférences qui se produisent entre les radiations transmises directement et celles qui émergent après avoir subi des réflexions intérieures, l'intensité de la radiation composée est fonction de l'épaisseur et de l'indice de réfraction des lames.

On pourrait croire qu'il serait au moins possible de reconnaître si un diélectrique donné absorbe les radiations ou si cette action n'est pas sensible, en employant ce corps sous forme de lame si mince que la différence de marche entre les rayons qui le traversent directement et les rayons qui ne s'échappent qu'après deux réflexions internes, soit une petite fraction de la longueur d'onde. Dans ce cas, il semblerait possible d'admettre que la radiation transmise dût être sensiblement

[1] RUBENS et RICHTER (*Wied. Ann.*, t. XL) n'ont observé aucune diminution dans l'intensité des radiations, en plaçant sur leur trajet une ou deux lames de verre, également inclinées.

égale à la radiation incidente, si la lame n'exerçait aucune absorption, et que, si l'on observait une diminution d'intensité, elle dût être attribuée à l'absorption. Cependant ce procédé même n'est pas à l'abri de toute objection.

On a vu, en effet (§ 37) que dans la production du phénomène de la réflexion sur la surface qui sépare deux diélectriques, les portions des deux corps qui se trouvent à quelque distance de la surface, et jusqu'à une distance d'au moins une demi-longueur d'onde, y prennent probablement part. Il n'est donc pas permis d'admettre que, sur les deux surfaces d'une lame dont l'épaisseur est beaucoup moindre que la demi-longueur d'onde, la réflexion ait lieu exactement comme à la surface d'une lame très épaisse.

Par exemple, on pourrait admettre que, dans le cas de la lame très mince, les radiations réfléchies par chacune des deux faces, ont une intensité assez faible. Dans cette hypothèse, le très grand affaiblissement des radiations complexes réfléchies par une lame diélectrique de très faible épaisseur ne pourrait pas s'expliquer seulement par l'interférence des rayons réfléchis sur la première surface avec ceux qui se superposent à ces premiers rayons après avoir subi une ou *plusieurs* réflexions intérieures; le phénomène serait dû par-dessus tout à la faible intensité des radiations réfléchies par chacune des deux surfaces de la lame.

On pourrait encore employer le procédé suivant pour décider réellement si une lame diélectrique absorbe, en partie, les radiations électriques; ce serait de mesurer séparément l'intensité des radiations incidentes, des radiations réfléchies et des radiations réfractées; si la somme des deux dernières est moindre que l'intensité des radiations incidentes, cela indiquerait que le corps a un pouvoir absorbant, puisque la diffusion semble devoir être éliminée quand on emploie des lames à faces bien planes.

J'ai fait quelques mesures de ce genre avec une lame de verre épaisse de 0,7 cm., inclinée à 45° sur les radiations, afin de rendre plus facile la mesure des radiations réfléchies. Les radiations émises par l'oscillateur (appareils II) passent par l'ouverture circulaire, large de 16 cm., d'un diaphragme en cuivre placé à 22 cm. de l'oscillateur, puis tombent sur la lame dont le centre est à 23 cm. du diaphragme. Le résonnateur est placé sur le bras mobile T V (fig 3) à une distance d'environ 30 cm. de la lame, il peut recevoir ou les radiations transmises ou les radiations réfléchies. de même que les radiations incidentes en enlevant la lame diélectrique.

Soient α, β, γ, les angles dont il faut faire tourner le résonnateur pour annuler les étincelles, lorsqu'il est placé respectivement dans le rayon incident, dans le rayon réfléchi ou dans le rayon transmis;

$$\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \quad \text{et} \quad \frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}$$

seront les amplitudes des vibrations réfléchies et réfractées rapportées aux radiations incidentes prises comme unité; par conséquent,

$$\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} \quad \text{et} \quad \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\gamma}$$

seront les intensités respectives, l'intensité des radiations incidentes étant prise comme unité.

Les valeurs de la somme

$$\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} + \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\gamma}$$

valeurs peu différentes de l'unité, sont trop variables d'une expérience à l'autre pour qu'on puisse tirer de ces expériences une conséquence utile.

On ne peut donc considérer comme démontré que la diminution d'intensité que subissent les radiations qui traversent certaines lames diélectriques soit réellement due à l'absorption.

Parmi les nombreuses expériences que j'ai exécutées pour étudier l'action des lames de verre à miroir, je décrirai encore la suivante pour faire comprendre à quel point il faut se

souvenir que deux lames qui sont en contact ou très voisines l'une de l'autre se comportent comme une lame unique (§ 20, *a*). J'ai placé, entre l'oscillateur et le résonnateur, et normalement aux radiations, deux lames de verre épaisses d'environ 0,7 cm.; lorsqu'elles étaient éloignées de 5 ou 6 cm. l'une de l'autre, l'amplitude des vibrations transmise était de 0,38; lorsqu'on les rapprochait peu à peu, jusqu'à ce qu'elles fussent en contact l'une avec l'autre, les étincelles dans le résonnateur devenaient de plus en plus vives, et l'amplitude de la vibration transmise atteignit la valeur 0,87; dans les deux cas, l'amplitude de la vibration incidente était prise comme unité.

41. *Transmission des oscillations électriques à travers le bois.* — Une planche de bois, coupée parallèlement aux fibres, affaiblit différemment les radiations suivant que les fibres sont perpendiculaires ou parallèles à la direction de la force électrique. Je fus conduit à constater ce phénomène par la considération de la conductibilité différente que possède le bois dans diverses directions.

De tous les bois ordinaires, le sapin est celui qui donne les effets les plus marqués.

Un des parallélipipèdes de sapin, déjà décrits (§ 33), est placé sur le disque mobile S de l'appareil (fig. 3), de façon que ses fibres soient verticales et que le faisceau des radiations émises par l'oscillateur traverse le bois perpendiculairement à sa plus grande face.

Si l'oscillateur donne d'abord des vibrations électriques horizontales, et partant, perpendiculaires à la direction des fibres, on note un léger affaiblissement des radiations produites par le bois. Le rapport de l'amplitude de ces radiations lorsque le cube de bois épais de 11,4 cm. était interposé, à l'amplitude qu'elles avaient avant cette interposition, fut, dans une expérience, de 0,91.

Lorsque les radiations étaient verticales, ce rapport fut de 0,5.

Le bois transmet donc avec une plus grande intensité les vibrations perpendiculaires à ses fibres que celles qui leur sont parallèles. On obtient le même résultat avec du bois de différentes épaisseurs.

Comme nous avons déjà constaté (§ 33) que ce bois réfléchit plus abondamment les vibrations parallèles aux fibres, on voit que les deux phénomènes sont en quelque sorte complémentaires, comme on pouvait le prévoir.

Le bois se comporte donc aussi dans la transmission comme un réseau de fils parallèles; mais entre le bois et un réseau de ce genre, il existe une différence notable, à savoir que, tandis qu'avec le réseau les vibrations parallèles aux fils sont éteintes, avec le bois, les vibrations parallèles aux fibres sont simplement plus affaiblies que celles qui leur sont perpendiculaires

En expérimentant successivement avec des blocs de sapin taillés dans une même planche épaisse, et d'épaisseurs différentes, on reconnaît que le rapport entre l'amplitude des radiations transmises et des radiations incidentes ne diminue pas régulièrement lorsque l'épaisseur du bois augmente, mais qu'il passe par des maxima et des minima successifs. On se trouve évidemment en présence du phénomène de l'interférence avec les lames minces. Cependant, avec une épaisseur de bois suffisante, ce rapport devient assez faible.

On peut constater la transmissibilité différente des radiations perpendiculaires ou parallèles aux fibres sans mouvoir l'oscillateur (§ 29, *e*). Il suffit, pour cela, de laisser l'oscillateur incliné à 45° sur la direction des fibres du bois, et d'observer les étincelles dans le résonnateur placé alternativement dans des directions perpendiculaire ou parallèle aux fibres. Les étincelles sont toujours plus vives dans le premier cas que dans le second.

42. *Polarisation elliptique produite par le bois.* — Si, sans rien changer au dispositif précédent, on fait tourner le résonnateur autour de son axe, on reconnaît que, en général, il donne des étincelles dans toutes les directions. On observe un maximum pour une certaine direction du résonnateur et un minimum pour l'orientation perpendiculaire à celle-ci.

Les radiations émergentes sont donc à vibrations elliptiques.

Si le bloc de bois est relativement mince, s'il a, par exemple, 3 cm. d'épaisseur, l'ellipse est peu sensible et, de toute façon, l'azimuth du grand axe est peu incliné sur la direction primitive des vibrations. Lorsqu'on augmente peu à peu l'épaisseur du bois, l'ellipse devient de moins en moins excentrique, ce qui se reconnaît par ce fait que la vivacité des étincelles dans le résonnateur devient de moins en moins différente, lorsque celui-ci est orienté dans la direction du grand axe ou du petit axe. En même temps, la direction du grand axe devient de plus en plus perpendiculaire à la direction perpendiculaire aux fibres.

Lorsque l'épaisseur du bois est de 13,7 cm., le grand axe est sensiblement horizontal, c'est-à-dire perpendiculaire aux fibres. Si l'on diminue alors l'angle que les vibrations incidentes font avec la direction des fibres, et si, au lieu de conserver l'angle de 45°, on adopte un angle de 22° environ, on n'observe plus de différence sensible dans les étincelles lorsqu'on modifie l'azimuth du résonnateur ; la radiation émergente est donc alors sensiblement à vibration circulaire.

Si l'on fait passer les radiations dans le prisme de paraffine à base trapézoïdale (§ 38) avant qu'elles atteignent le résonnateur, on reconnaît que la vibration est rectiligne et inclinée à 45° vers la droite sur la perpendiculaire au plan de réflexion du prisme, si l'oscillateur est incliné de 22° vers la gauche sur la même direction. Cette expérience confirme donc l'existence des vibrations circulaires.

Enfin, en employant une épaisseur de bois plus grande que la précédente, par exemple, de 17 cm. (qui peut être formée par deux ou plusieurs blocs minces à fibres parallèles), le rayon émergent est de nouveau polarisé elliptiquement, mais le grand axe est incliné en sens inverse par rapport à l'expérience précédente.

On pourrait expliquer tous ces phénomènes en admettant que les vibrations perpendiculaires aux fibres se propagent dans le bois avec une vitesse différente de celle avec laquelle se propagent les vibrations parallèles aux fibres. Avec le bloc de 13,7 cm. d'épaisseur, le retard d'une des vibrations sur l'autre dû à leur différence de vitesse, serait sensiblement égal à un quart de période, ce qui explique la polarisation circulaire qu'on peut obtenir dans ce cas.

En résumé, le bois se comporterait d'une façon analogue aux lames biréfringentes taillées parallèlement à l'axe, et la planche de 13,7 cm. serait l'équivalent d'une lame à quart d'onde.

On doit observer qu'en optique, afin d'obtenir un rayon polarisé circulairement, il faut faire passer dans la lame à quart d'onde un rayon dont la vibration soit à 45° avec l'axe optique de la lame, tandis qu'ici, les vibrations incidentes doivent faire un angle d'environ 22° avec la direction des fibres. Cette différence entre les deux cas est due à la transmissibilité différente des vibrations électriques dans le bois selon qu'elles sont parallèles ou perpendiculaires aux fibres. Lorsque l'angle des vibrations incidentes avec la direction des fibres est plus petit que 45°, la composante parallèle aux fibres de la vibration incidente est plus grande que la composante perpendiculaire; mais, puisque la première éprouve une plus grande diminution, par son passage à travers le bois, ainsi que nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, il en résulte qu'en émergeant, la différence entre les deux composantes est moindre qu'avant d'avoir pénétré dans le bois. Avec la valeur de 22° donnée à cet angle, les deux composantes ont des valeurs égales en sortant du bloc de bois, et, puisqu'elles ont acquis une différence de phase d'un quart de période, elles se composent en une vibration circulaire.

La lame de bois se comporterait donc en quelque sorte comme une lame mince de tourmaline parallèle à l'axe, plutôt que comme une lame de quartz ou de spath taillée de la même manière.

(*A suivre.*)

A. RIGHI,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Nouveaux essais de traction électrique par accumulateurs.

Le problème de la traction par accumulateurs est un des plus difficiles qui se présentent au praticien. Les essais faits jusqu'à présent dans cette voie n'ont pas eu de succès complet. Malgré cela l'industrie ne se décourage pas, car il est certain que la traction par accumulateurs, si elle devenait économique, serait bien plus apte à faire pénétrer la force motrice électrique sur les lignes de tramways de nos grandes villes que ne le peut le fil aérien, contre l'emploi duquel il existe un fort préjugé.

Les insuccès relatifs sont attribués avec raison aux propriétés des accumulateurs employés. L'accumulateur au plomb, sous ses différentes formes, n'a pas une puissance spécifique suffisante, et se détériore trop vite sous l'action de régimes de décharge très variables. C'est donc avec interêt que seront suivis les essais de traction avec un accumulateur mettant en jeu des réactions différentes de celle de l'accumulateur au plomb.

En Amérique, on poursuit déjà depuis un certain temps des expériences avec l'accumulateur au cuivre et au zinc dérivant directement de la pile Lalande et Chaperon. Depuis deux mois cet accumulateur, aujourd'hui construit d'après les brevets Waddell-Entz, est essayé en Europe.

La première application en a été faite à Hagen (Westphalie), siège d'une grande fabrique d'accumulateurs. Voici, d'après un article de M. Feldmann [1], quelques détails sur ces essais. Notons d'ailleurs que la ligne d'essai doit rester en service permanent. Elle a 3.125 m. de longueur, le plus petit rayon de courbure est de 15 m., la rampe la plus accentuée de 4 p. 100, et la voie est à l'écartement de 1 m. Cinq voitures circulent sur cette ligne ; ces voitures sont aménagées pour recevoir 26 voyageurs. Chacune d'elles est munie d'un moteur de 15 chevaux alimenté par 88 accumulateurs placés sous les sièges.

Ces accumulateurs contiennent 7 électrodes négatives et 6 électrodes positives ; les dimensions des éléments sont : 32 cm. de hauteur, 20,5 de largeur et 11 de profondeur. Le poids total de l'élément vide est d'environ 7 kg. ; celui de l'élément rempli de liquide de 14 kg. Les électrodes négatives sont formées d'une sorte de grillage serré en fil de fer servant de support au zinc déposé du zincate de potasse. Ces plaques sont séparées des électrodes positives par de petits tubes de verre. Les plaques positives sont constituées par des doubles spirales en tresse de cuivre enfermées dans des sacs de coton. Ces éléments ressemblent donc, en beaucoup de points, aux accumulateurs Commelin et Desmazures, dont ils diffèrent néanmoins par leur moindre résistance intérieure. Leur force électromotrice est de 0,85 à 0,88 volt ; leur capacité normale de 250 ampères-heures.

L'expérience suivante faite par M. Feldmann permet de se faire une idée des propriétés particulières de ces accumulateurs. Trois éléments en série, qui venaient déjà d'accomplir un voyage, ont été mis en court circuit sur un ampèremètre. L'intensité de décharge était de 400 ampères pendant 40 minutes ; après 20 minutes, la différence de potentiel d'un élément était encore de 0,5 volt, et la force électromotrice, immédiatement après la rupture du circuit, de 0,85 volt.

La charge d'une des batteries de Hagen suffit pour 33 voitures-kilomètres ; le poids de la batterie avec les caisses est d'environ 1,4 tonne pour un poids total de la voiture de 7 tonnes. Une petite batterie de 12 éléments fournit l'excitation des moteurs et alimente les lampes de la voiture. Les 76 éléments restants peuvent être groupés en quatre séries parallèles, en deux séries parallèles ou tous en série. Dans une des positions du commu-

(1) *Elektrot. Zeitschr.*, 17 janvier 1895.

tateur, le courant sert au freinage de la voiture. La force vive acquise est employée à la charge des accumulateurs. Il est vrai que le courant de charge ainsi obtenu atteint jusqu'à 300 ampères et il reste à savoir si ces régimes ne sont pas nuisibles à la conservation des éléments.

La charge normale commence avec environ 0,9 volt par élément et se termine à 1 volt. Pendant la charge, on entretient une circulation active de l'électrolyte en le chauffant à environ 50 degrés. Les constructeurs prétendent qu'à énergie égale, le poids des accumulateurs au plomb est à celui des accumulateurs au cuivre-zinc comme 1 à 0,55 et que la conservation des plaques n'est pas affectée par le degré d'intensité de la décharge.

On vient de faire une autre application de ces accumulateurs, et avec le plus grand succès, paraît-il, sur une ligne de Vienne, longue de 5.840 m. et présentant des rampes atteignant jusqu'à 3,6 p. 100. Deux voitures à 32 places circulent sur cette ligne. Le poids d'une voiture complète est ainsi composé :

Voiture.	4.700 kg.
Moteur et appareils.	800 »
Accumulateurs.	1.800 »
32 personnes à 60 kg.	1.920 »
	9.220 kg.

Provisoirement, et en tenant compte des données acquises aux Etats-Unis, la traction à l'aide de ces accumulateurs paraît donner lieu aux frais suivants par voiture-kilomètre :

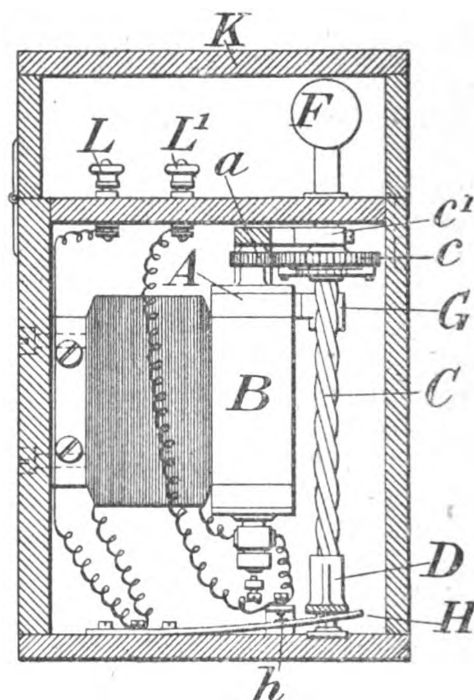
Dépenses d'exploitation.	8 fr. 63
Intérêt et amortissement.	12 30
	20 fr. 93

Il n'est pas possible de donner dès maintenant une évaluation exacte de ces dépenses, et nous devons attendre les résultats que la pratique indiquera, principalement sur la ligne viennoise actuellement en observation.

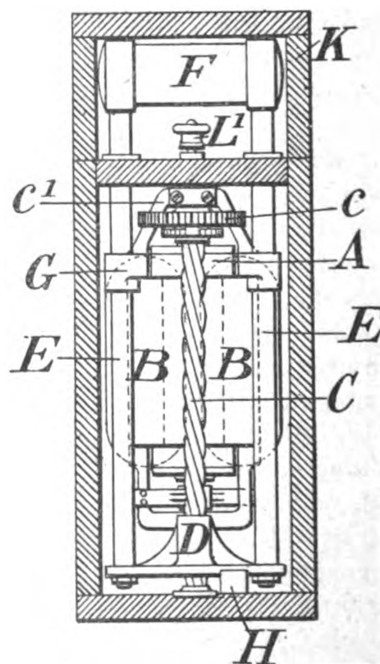
A. H.

Exploseur Siemens et Halske (1894).

Quand, après avoir renversé le couvercle K,



et découvert les deux bornes LL_1 on tire la



poignée F, l'écrou D, soulevé par EE, ferme en

h le circuit, sur la dynamo en série AB, et fait tourner la vis à pas allongé C, mais sans entraîner le pignon à rochet *c*; puis, quand on abaisse vivement F, le rochet de C entraîne au contraire *c*, et fait rapidement tourner l'armature B, jusqu'à ce que D, arrivé à fond de course, rompe brusquement le contact *h*, par son choc sur le ressort H, et dérive le circuit de la dynamo sur LL_1 et la fusée.

G. R.

Cuve électrolytique Thofern.

Dans cet appareil les électrodes sont disposées de telle façon que les produits gazeux de l'électrolyse soient obligés de se mélanger.

Si la cathode occupe le fond de la cuve (fig. 1), les gaz qui s'y développent montent à

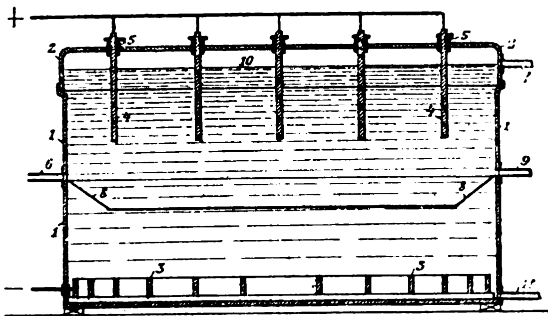


Fig. 1. — Cuve électrolytique de Thofern.

la surface du liquide où ils rencontrent ceux provenant de l'anode.

La cuve est formée de deux parties, le corps 1 et le couvercle 2. La cathode 3 est disposée en anneaux concentriques. Les anodes 4 passent à travers des bouchons isolants 5 plantés dans le couvercle. Le tuyau 6 sert à l'introduction de l'électrolyte, qui s'en va par le trop-plein 7, lequel laisse également échapper les gaz.

Un écran 8 permet de retenir une partie des gaz de la cathode et de régler les proportions du mélange gazeux. Les gaz retenus par l'écran peuvent être évacués par 9.

Les réactions entre les gaz se continuent dans la partie 10 de la cuve. L'ouverture 11 permet la vidange de l'appareil.

A. H.

Compteur Kelvin (1893).

Ce compteur comprend un solénoïde fixe *b* traversé par le courant à mesurer, et dans le-

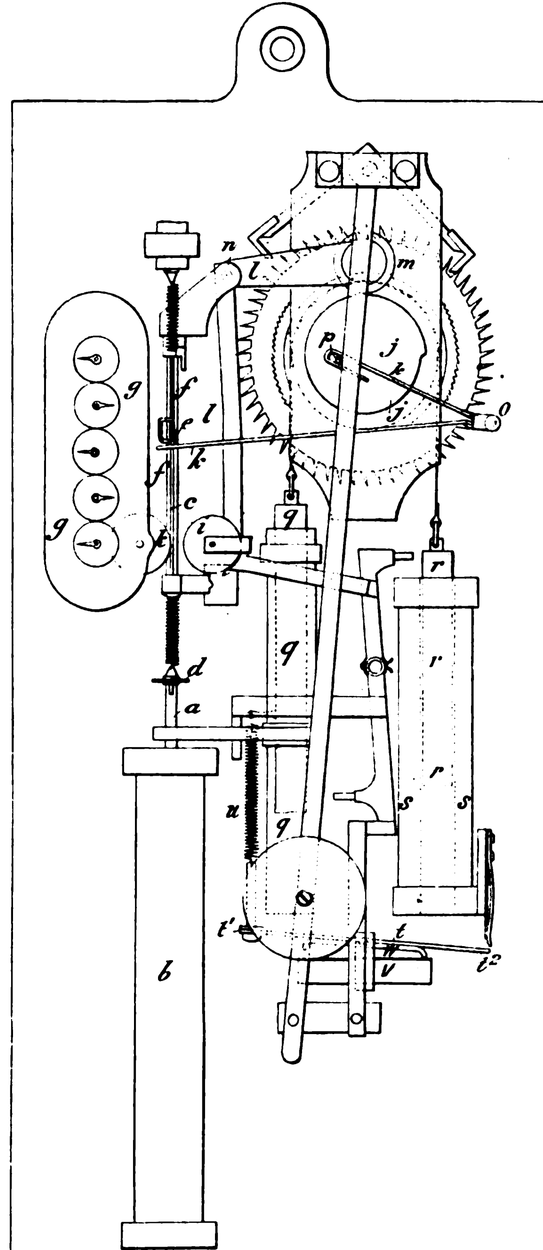


Fig. 1. — Compteur Kelvin (1893).

quel monte et descend un électro-aimant à fils fins *a*, qui porte sur son chapiteau *d* la tige *c*, à croisillon *e*, guidé en *ff*; et *d* est sus-

pendu à des ressorts calculés de manière que ses déplacements soient proportionnels aux variations de l'intensité du courant en *b*. A des intervalles réguliers, la came *j*, commandée par un mouvement d'horlogerie, appuie par *mnl* le galet *i* sur la tige *c*, et la repousse ainsi sur le galet *k* du compteur *g*; puis, pendant toute la durée de cet appui, le bouton *p* de la came *j* soulève, par *kok*, la tige *c*, de manière à faire tourner *k* d'une quantité pro-

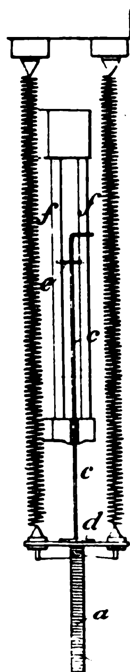


Fig. 2.

portionnelle à l'intensité du courant au commencement de ce mouvement.

La marche du mouvement d'horlogerie est entretenue comme il suit par le courant même. Quand le poids moteur *q* arrive au bas de sa course, il abaisse le levier *t*, malgré le ressort *u*, assez pour fermer en t_1 le circuit du solénoïde *s*, dont l'armature *r* remonte le poids *q*, puis le ressort *u* rompt de nouveau ce circuit. Un aimant permanent *v* empêche *t* d'osciller par son attraction sur sa semelle *w*. Chaque fois que *t* bascule dans un sens ou dans l'autre, l'attraction de *u* sur l'extrémité correspondante de *w* le maintient sans battements dans cette position jusqu'à une nouvelle action de *u* ou de *q*.

G. R.

Nouveau grappin de relevage pour câbles.

Un nouveau grappin inventé par M. Claude Johnson et construit par la maison Johnson et

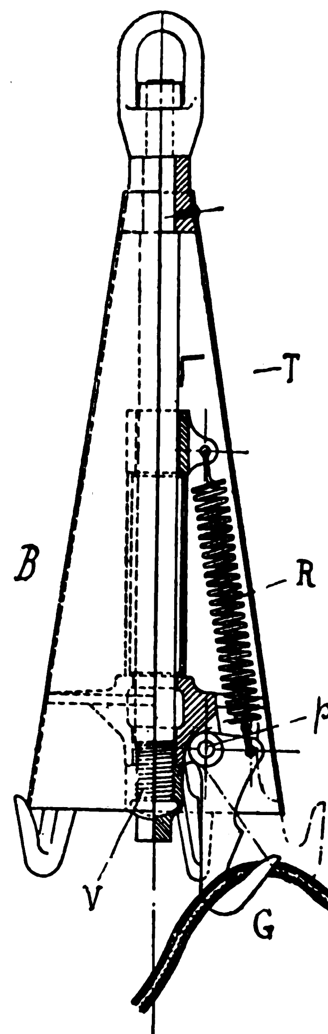


Fig. 1. — Grappin de relevage Claude Johnson. Coupe.

Phillips est représenté en élévation par la figure 1 et par la vue d'ensemble (fig. 2). Les crochets sont fixés à l'axe central de façon que, retenus par des ressorts, ils fassent saillie par-dessous le bord de l'enveloppe conique, mais puissent rentrer sous l'enveloppe quand

ils rencontrent un corps dur. Ce grappin passe donc facilement sur les obstacles tels que pierres, etc., mais s'accroche au câble.

Pour les fonds vaseux, le grappin n'a que deux crochets plats et minces, pourvus d'une plaque qui glisse sur la vase, tandis que les crochets s'y enfoncent par leur tranchant et peuvent relever le câble envasé.

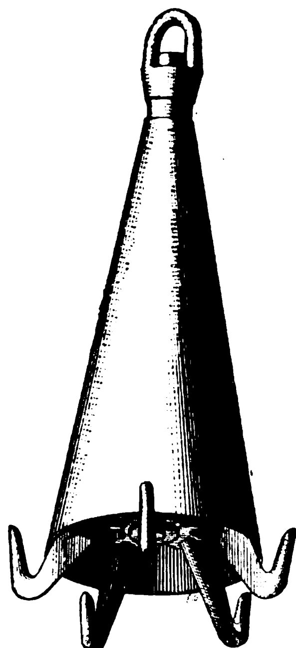


Fig. 2. — Grappin de relevage de Claude Johnson. Vue d'ensemble.

Sur l'utilisation du champ magnétique alternatif tournant, par Riccardo Malagoli.

L'impartialité avec laquelle nous avons accueilli dans nos colonnes une communication antérieure du professeur Riccardo Malagoli, qui a soulevé les protestations de la presse technique, nous oblige à reproduire de même *in extenso* la loyale rectification d'une erreur qu'il est le premier à reconnaître sous le titre ci-dessus, dans le numéro du 24 février dernier de *l'Electricità*. Nous lui laissons la parole :

1. J'ai, dans une autre note, exposé les propriétés fondamentales du champ alternatif tournant (défini comme un champ alternatif ordinaire, doué d'une vitesse de rotation uniforme, de fréquence égale à celle des alternativités), sans en indiquer aucune application spéciale.

Je m'empresse de revenir sur la discussion pour rectifier quelques conclusions inexactes auxquelles je suis arrivé dans cette question. Il est bien vrai que, si on lance suivant AB (fig. 1) un courant continu, ce courant réagira sur le champ tournant ; mais la réaction ne donnera lieu à aucune absorption d'énergie puisque le champ inducteur peut être considéré comme résultant des deux champs égaux et invariables, l'un de direction fixe OC, l'autre tournant ; le premier ne motive aucune réaction, puisqu'il reste immobile ; l'autre, comme tous les champs tournants, forme avec le courant continu un système d'emmagasinement qui absorbe pendant une moitié de la rotation le travail même qu'il restitue dans l'autre moitié.

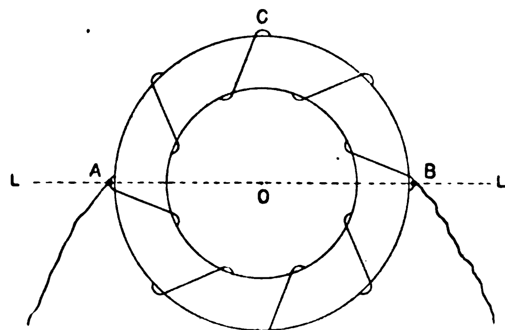


Fig. 1

D'après la loi de Lenz, on ne peut en conséquence, recueillir aux bornes A et B un courant continu, dont le développement n'absorberait pas de travail dans le champ inducteur.

2. Pour obtenir un courant de sens constant (superposé au courant sinusoïdal fourni par l'induction du champ tournant), il serait nécessaire de faire tourner l'anneau muni d'un collecteur et de recueillir le courant à l'aide de

deux balais fixes suivant la direction AB. La f. é. m. disponible à ces balais à l'instant t serait représentée par une expression de la forme

$$E\left(a + \sin bt\right),$$

dans laquelle a dépend de la vitesse de rotation absolue de l'anneau, et b de la vitesse relative de cet anneau et du champ tournant composant. Si l'anneau est fixe, on a alors $a = 0$ et $b = \frac{2\pi}{T}$, $\frac{1}{T}$ représentant la fréquence du champ tournant. Si l'anneau tourne en même temps que ce champ, c'est-à-dire avec une vitesse double de celle du champ alternatif tournant, l'action de la rotation du premier sera nulle et on aura :

$$b = 0, \quad a = 1.$$

Et l'on comprend que, tandis que la vitesse de l'anneau passe de la fréquence 0 à la fréquence $\frac{1}{2T}$, le courant résultant éprouve des pulsations dans les deux sens, quoique inégales, tandis que, à partir de la fréquence $\frac{1}{2T}$ jusqu'à la fréquence $\frac{1}{T}$, l'intensité oscille, tout en restant toujours de même signe, jusqu'à ce que ses pulsations cessent lorsqu'est réalisé le synchronisme avec le champ tournant composant.

3. Pour étudier de plus près l'effet du champ alternatif tournant sur l'anneau fixe de la figure précédente, revenons à la conception du flux magnétique. Etant admis que l'intensité du champ alternatif tournant est représentée par

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 \sin. \frac{\pi t}{T},$$

et présente ses maxima lorsque sa direction est perpendiculaire à AB, le flux traversant, au même instant, une spire située en C, est donné par l'expression

$$\bar{\Phi} = \mathcal{H} = \mathcal{H}_0 S \sin \frac{\pi t}{T} \cos \frac{\pi t}{T} = \frac{\mathcal{H}_0 S}{2} \sin \frac{2\pi t}{T},$$

S représentant la surface équivalente de la spire.

D'une manière analogue, le flux qui passe dans une spire de l'anneau située en A sera donné par

$$\bar{\Phi}' = \mathcal{H}_0 S \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Les forces électromotrices déterminées par ces flux dans les spires respectives sont, en conséquence :

$$-\frac{d\bar{\Phi}}{dt} = -\frac{\pi}{T} \mathcal{H}_0 S \; 2 \cos \frac{\pi t}{T}$$

$$-\frac{d\bar{\Phi}}{dt} = -\frac{\pi}{T} \mathcal{H}_0 S \sin \frac{2\pi t}{T},$$

d'où l'on passe aisément aux forces électromotrices totales susceptibles d'être recueillies à des bornes situées suivant le diamètre AB et celui qui lui est perpendiculaire ; ces f. é. m. auront pour expressions :

$$E = E_0 \sin \frac{2\pi t}{T}; \qquad E' = E_0 \cos \frac{2\pi t}{T},$$

En comparant ces f. é. m. à celle qui donne naissance au champ alternatif mis en mouvement rotatif, on comprendra comment l'application que j'ai indiquée du champ alternatif tournant permet d'arriver à doubler la fréquence d'un courant alternatif ; par suite, en renversant les rôles, on pourra dire encore que le champ alternatif tournant permet de résoudre le problème consistant à diviser par deux le nombre des alternativités d'un courant, et ce, sans dépense d'énergie mais par l'effet de l'induction.

4. On pourrait utiliser autrement le champ alternatif tournant à la production d'un champ fixe d'intensité constante, en recourant simplement à des champs alternatifs. Il suffit à cet effet de le superposer à un champ Ferraris tournant dans le même sens avec une vitesse angulaire double et possédant une intensité inférieure de moitié à l'intensité maxima du champ alternatif tournant. Ce champ Ferraris, s'il a une orientation de 180° par rap-

port au champ tournant composant du champ alternatif tournant, le neutralise; et il reste comme champ résultant un champ fixe d'intensité également fixe.

E. B.

Influence des charbons sur la puissance lumineuse de la lumière à arc, par W. Stine.

Dans l'*Electrical World* du 23 février, *W. Stine* examine d'une façon étendue l'influence des charbons sur la puissance lumineuse des lampes à arc et sur leur bon fonctionnement.

Il fait remarquer très judicieusement le contraste frappant dans l'histoire du développement des deux méthodes d'éclairage électrique : l'incandescence et l'arc.

Pour les lampes à incandescence, toute l'attention a été portée sur les qualités de la substance destinée à émettre la lumière, sur les meilleures conditions de traitement du filament et aussi sur la durée et sur la qualité de la lumière émise; enfin la préoccupation actuelle n'est pas tant dans la durée des lampes que dans les watts absorbés par bougie. On peut dire que la question a été étudiée dans ses moindres détails, et il a été montré que pour une consommation spécifique donnée, il y avait une limite minima de durée à rechercher. Quant à la qualité lumineuse des lampes, le public est bon juge pour distinguer par ses propres yeux de la nature plus ou moins brillante de la lumière fournie par un type de lampes; c'est l'application de la photométrie pratique et publique.

Enfin, la monture de la lampe à incandescence est la partie accessoire.

Dans les lampes à arc, au contraire, on peut dire que la perfection du mécanisme excède celle des charbons.

Pour obtenir la stabilité de l'arc sous les conditions commerciales, on a eu recours à des mécanismes compliqués, et malgré cela, si les charbons sont mauvais les résultats sont négatifs. La qualité des charbons peut faire varier la puissance lumineuse de 50 p. 100. Il y a donc lieu de rechercher les meilleures conditions à réaliser : le bon marché des charbons doit être la qualité secondaire; il est très possible et même certain que, dans une exploitation, l'économie véritable du prix de revient ne soit pas du côté de la mauvaise qualité du combustible; c'est le prix du watt pour une même puissance lumineuse qui doit être considéré.

La photométrie de l'arc est plus compliquée que pour la lampe à incandescence et nécessite des opérations de laboratoire; mais certaines conclusions de M. *W. Stine* sont faciles à retenir.

Considérant que l'arc électrique par lui-même est faiblement lumineux, comme on peut s'en convaincre en ouvrant un circuit portant une grande intensité, obtenant ainsi une forte étincelle mais d'éclat faible, il impute la puissance lumineuse à l'atmosphère qui entoure les extrémités des charbons se vaporisant par la température élevée de l'arc.

L'extrémité du charbon positif est si fortement chauffée qu'elle fond et se résout en vapeur transportée par l'arc vers le charbon négatif. Une partie de cette vapeur brûle dans le trajet au contact de l'oxygène de l'air environnant, tandis qu'une autre partie se dépose sur le charbon négatif plus froid. La puissance lumineuse de l'arc dépend de la richesse de cette vapeur de carbone absolument comme la flamme du gaz est enrichie, au point de vue lumière, par l'introduction d'hydrocarbures solides ou liquides.

Le carbone en transit dans l'arc doit être à l'état moléculaire ou gazeux, puisque c'est une action chimique qu'il faut favoriser; il est donc nuisible d'avoir des granules de charbon qui se détachent du positif. En effet, ces granules fortement chauffés par leur passage dans l'arc, n'émettent de la lumière que par leur surface, et par suite une certaine quantité de charbon, la partie interne des granules n'émet pas de lumière; c'est une perte de matière et un affaiblissement du rendement.

Il faut donc rechercher un charbon à grain fin, parfaitement homogène, afin d'obtenir la

plus grande stabilité de l'arc et sa direction fixe par rapport aux charbons, ainsi qu'une usure uniforme.

Les charbons doivent être cuits complètement d'un bout à l'autre sans durcir particulièrement la couche extérieure ; la cuisson n'a pas besoin d'être faite à température trop élevée, mais au contraire à température modérée pendant un temps plus long.

La cuisson à haute température produit des charbons durs, à usure faible mais à puissance lumineuse basse avec des défauts dans l'uniformité de la texture.

Par le second procédé on obtient un charbon doux dans lequel les éléments gazeux emprisonnés ont été complètement déplacés.

Pour les manufacturiers, la qualité du charbon cru est également un élément important, mais encore c'est plutôt l'uniformité du grain qui doit passer avant sa finesse, bien entendu, dans certaines limites.

La substance cémentante employée au moulage doit être complètement carbonisée. Enfin les procédés de fabrication jouent un rôle très important.

L'essai des charbons se fait habituellement dans les lampes en notant la puissance dépensée et l'usure ainsi que les mesures photométriques. M. *W. Stine* a employé une méthode simple consistant à soumettre les charbons à un examen électrolytique. A cet effet, deux charbons sont employés comme électrodes dans une solution à 25 p. 100 de potasse ou de soude.

Si le cément n'a pas été entièrement brûlé et chassé des charbons, il se diffusera en très peu de temps à travers le liquide où on pourra le reconnaître. De temps à autre, le positif sera examiné. L'action de l'oxygène libéré est de consumer le positif et, s'il ne se présente aucune variation dans la dureté, le régime sera uniforme. A mesure que la couche extérieure disparaît, la rapidité de destruction de la couche intérieure fournit une indication sur le caractère du centre du charbon. Un courant de deux ou trois ampères suffit pour cet essai.

En résumé, il faut examiner les propriétés des charbons et les choisir, en tenant compte de toutes les conditions de dépenses suivant l'usage auquel on les destine, en se rappelant que les charbons doux s'usent rapidement mais donnent une lumière plus brillante que les charbons durs à longue durée. On emploiera donc les uns ou les autres suivant le but à atteindre et en se rapportant toujours au prix de revient du watt par bougie.

E. J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Sur la résistance à la décharge, par G. W. Pierce (¹).

Dans ce mémoire, l'auteur donne les résultats d'expériences comparatives sur les distances explosives dans l'air et dans divers milieux diélectriques solides ou liquides.

Deux excitateurs identiques sont reliés en dérivation aux pôles d'une machine Tœpler-Holtz. Les pôles de ces excitateurs sont constitués, soit par des disques de laiton de 9 cm. environ de diamètre, soit par des sphères de même métal de 2,5 cm. de diamètre. Entre les pôles de l'un d'eux est disposé le diélectrique solide ou liquide ; les pôles de l'autre sont laissés dans l'air. On fait fonctionner la machine et on écarte peu à peu les pôles de ce dernier excitateur jusqu'à ce que les étincelles cessent de passer entre ses pôles et éclatent à travers le diélectrique. A ce moment on mesure, au moyen d'une vis micrométrique, l'épaisseur d'air qui se trouve entre les pôles de l'excitateur. L'épaisseur du diélectrique est déterminée au moyen d'un sphéromètre.

La connaissance de l'épaisseur d'air correspondant à la rupture du diélectrique permet, en utilisant les résultats des expériences de

(¹) *Physical Review*, t. II p. 99-112.

Macfarlane(1), Steinmetz(2), Baille(3), de déterminer la différence de potentiel qui lui correspond, et, par conséquent, de déterminer la variation de cette différence avec l'épaisseur du diélectrique.

En opérant entre 55° et 85° C. sur de la paraffine fondue dont le point de fusion était 52° C., l'auteur a constaté que, pour une épaisseur du diélectrique constante, l'épaisseur d'air requise pour le passage des étincelles à travers la paraffine, semble augmenter un peu avec la température. Le tableau I donne les résultats de ces expériences ; les trois dernières colonnes de ce tableau indiquent les différences de potentiel correspondant aux diverses valeurs de la moyenne des distances explosives relatives à une même épaisseur de paraffine. La figure 1 représente graphiquement les résultats contenus dans les quatre dernières colonnes du tableau. La courbe I est obtenue en portant en abscisses les épaisseurs de paraffine et en ordonnées les moyennes des distances explosives observées dans l'air ; les courbes II, III et IV sont obtenues en portant en abscisses les épaisseurs de paraffine et en ordonnées les différences de potentiel déduites de la courbe précédente et des résultats respectifs de Macfarlane, Steinmetz et Baille. Ces courbes montrent que la diffférence de potentiel par millimètres d'épaisseur est sensiblement constante.

Tableau I.

PARAFFINE FONDUE — POINT DE FUSION 52° C.

ÉPAISSEUR de la paraffine en millimètres.	ÉPAISSEUR D'AIR EN MILLIMÈTRES						DIFFÉRENCE de potentiel en kilovots (Macfarlane)	DIFFÉRENCE de potentiel en kilovolts (Steinmetz).	DIFFÉRENCE de potentiel en kilovolts (Baille).
	TEMP. 83° — 85°.	TEMP. 75° — 80°	TEMP. 70° — 73°	TEMP. 60° — 65°	TEMP. 55° — 58°	MOYENNE.			
0,5	—	0,8	1,0	1,0	0,8	0,90	3,30	2,2	4,0
1	2,2	1,90	1,9	2,1	2,15	2,05	6,00	4,0	7,7
1,5	3,0	2,70	2,8	3,0	3,50	3,06	8,10	5,3	10,6
2,0	4,1	3,70	4,0	4,1	4,60	4,12	10,20	7,0	13,8
2,5	5,7	5,00	5,7	5,3	5,20	5,40	12,95	8,9	17,6
3,0	7,3	6,70	—	7,2	—	7,07	15,60	10,9	22,5
3,5	8,8	8,35	—	8,4	—	8,50	18,90	12,3	27,0

Des expériences semblables, faites à 80° sur de la paraffine fondue dont le point de fusion était compris entre 76° et 80°, ont fourni des résultats analogues ; la différence de potentiel

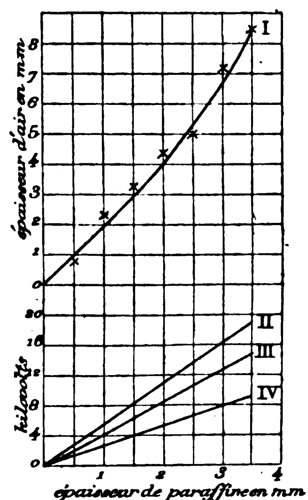


Fig. 1.

rapportée à une épaisseur de 1 mm. est encore sensiblement constante mais un peu plus grande que précédemment.

Les résultats d'expériences faites sur des

(1) Macfarlane. *Phil. Mag.*, décembre 1880.

(2) Steinmetz. *Trans. Amer. Inst. of El. Eng.*, février 1893.

(3) Baille. *Ann. de Ch. et de Phys.* [5]. t. XXV, p. 486 ; 1882.

lames solides du premier échantillon de paraffine montrent que la différence de potentiel par millimètre d'épaisseur est environ une fois et demie plus grande pour la paraffine solide que pour la paraffine fondue.

Toutes ces expériences étaient faites avec les excitateurs à disques. Mais avec cette disposition il se produit souvent, en certaines régions de la lame diélectrique solide ou liquide, des défauts d'homogénéité qui permettent à l'étincelle d'éclater pour une différence de potentiel moindre que celle qui serait acquise si ces défauts n'existaient pas. D'autres expériences furent faites avec les excitateurs à boules. Elles donnèrent, comme on devait s'y attendre d'après la remarque ci-dessus, une valeur plus grande que les expériences précédentes pour la différence de potentiel de rupture rapportée à 1 mm. d'épaisseur. Mais, comme celles-ci, elles montrèrent que cette quantité est sensiblement indépendante de l'épaisseur.

Incidemment, l'auteur fut amené à faire cette remarque importante que, pour une même différence de potentiel, la distance explosive dans l'air n'est pas la même suivant que le trajet de l'étincelle est loin de tout autre diélectrique ou, au contraire, dans une couche d'air en contact avec un diélectrique solide.

Pour le montrer, il prenait les excitateurs à plaques et plaçait entre les plaques de l'un d'eux et perpendiculairement à leurs plans une lame de verre bien nettoyée. Les deux excitateurs étant reliés en dérivation aux pôles de la machine, il augmentait peu à peu la distance des plaques de l'excitateur à lame d'air continue et constatait que, pour une distance de ces plaques moindre que la moitié de celle qui séparait les plaques de l'autre excitateur, les étincelles jaillissaient entre celles-ci à la surface de séparation de l'air et du verre.

Au premier abord, M. Pierce attribua ce résultat à la présence de poussières à la surface de la lame de verre, mais il reconnut bientôt que cette explication n'était pas exacte, car il obtint le même résultat en prenant le soin d'enlever toute trace de poussière à la surface du verre.

En faisant varier la largeur de la lame de verre, il constata que le rapport de la distance explosive dans l'air à la distance explosive le long de la surface de cette lame est un nombre sensiblement constant et voisin de 0,442.

Comme nous le disions, cette remarque est importante, car elle montre que si, dans la recherche des distances explosives dans l'air ou dans les gaz, on emploie des condensateurs dont les armatures sont séparées par des cales en substances diélectriques solides, on risque d'obtenir des valeurs fort différentes de celles que l'on aurait avec un condensateur à lame gazeuse continue. Or, pour éviter une variation de la distance des armatures sous l'influence de l'attraction des charges qu'elles portent, l'emploi des cales est assez répandu. En particulier Steinmetz s'est servi de cales en verre et c'est peut-être pour cette raison que les distances explosives qu'il a obtenues pour des valeurs données de la différence de potentiel sont beaucoup plus grandes que celles qu'ont trouvées, Baille, Siemens, Macfarlane, sir W. Thomson, etc. En tout cas, cette explication se trouve confirmée par ce fait qu'en multipliant les nombres de Steinmetz par le rapport 0,442 déterminé expérimentalement par l'auteur, on obtient des nombres concordant avec ceux des autres expérimentateurs.

Il résulte des expériences de l'auteur que la différence de potentiel nécessaire pour produire une décharge disruptive dans un diélectrique solide ou liquide est sensiblement proportionnelle à l'épaisseur de ce diélectrique. On sait que dans les gaz il n'en est pas ainsi : la différence de potentiel croît aussi avec l'épaisseur du gaz à traverser, mais à partir d'une certaine valeur elle croît moins vite que l'épaisseur.

L'auteur attribue cette différence d'action à ce que, dans le gaz, il se produit des phénomènes de convection. Cette opinion se trouve confirmée par les résultats de quelques expériences qu'il a faites avec de la paraffine fondue

contenant des poussières solides. Il se produit des phénomènes de convection très apparents et, comme dans le cas des gaz, la différence de potentiel nécessaire à la production d'une décharge disruptive croît moins vite que l'épaisseur à partir d'une certaine valeur de cette dernière quantité.

M. Pierce essaie d'expliquer théoriquement ces résultats :

« Plaçons-nous d'abord dans le cas où il n'y a pas convection. L'énergie du condensateur se manifeste par des tensions et des pressions du milieu isolant. Au moment de la décharge disruptive, la totalité de cette énergie est dissipée ; nous avons :

$$W = \frac{Ak}{8\pi r} V^2 = Arf,$$

A étant l'aire d'une des armatures, r la distance de ces armatures et f la quantité d'énergie par unité de volume nécessaire pour rompre le diélectrique. De cette égalité on tire :

$$V = \sqrt{\frac{8\pi f}{k}}\, r.$$

« Dans la disruption simple, f est constant et proportionnel à la résistance qu'éprouve l'électricité à passer d'une molécule à l'autre ; donc V est proportionnel à r.

« Quand il y a convection, une partie de l'énergie est employée à charger les couches de molécules de l'isolant en contact avec les plaques. (Il n'y a pas lieu de considérer l'énergie cinétique acquise par les molécules, car elle n'est qu'une transformation de l'énergie dépensée pour les charger.)

« Ces molécules diélectriques ont une sorte de *répugnance* pour l'électricité. La résistance superficielle totale sera proportionnelle à l'aire de la surface de contact et à la répugnance par unité d'aire et pourra être exprimée par Ap.

« Dans une décharge par disruption et par convection, comme celles qui se produisent dans l'air et les autres gaz, cette quantité doit être ajoutée à la quantité Arf considérée précédemment, et cette somme doit être égale à l'énergie totale ; par suite :

$$\frac{Ak}{8\pi r} V^2 = Arf + Ap,$$

d'où

$$V = \sqrt{\frac{8\pi}{k}} \sqrt{fr^2 + pr}\ ».$$

Cette formule concorde assez bien avec les résultats expérimentaux, en particulier avec ceux de Macfarlane, lorsqu'on opère avec des plaques de dimensions considérables par rapport à la distance qui les sépare.

J. B.

Sur la mesure des résistances, par Arthur Schuster (¹).

La précision des mesures physiques faites avec un certain nombre d'instruments, tels que le bolomètre et le thermomètre à résistance de platine, dépend de l'exactitude avec laquelle on peut évaluer une résistance électrique. Aussi, à chaque instant, se pose cette question : avec quelle approximation peut-on, au moyen d'un galvanomètre donné, mesurer une résistance donnée?

Quelle que soit la disposition expérimentale adoptée, la sensibilité croît en même temps que la force électromotrice. Mais on ne peut augmenter la force électromotrice au delà d'une certaine limite, car cette augmentation est accompagnée d'une élévation de plus en plus grande de la température des conducteurs traversés par le courant, élévation de température qui peut endommager les isolants ou donner naissance à des courants thermo-électriques. C'est donc, en définitive, l'échauffement des conducteurs qui limite la précision que l'on peut atteindre dans la mesure des résistances. Dans son Mémoire, l'auteur discute la question à ce point de vue.

Considérons un système de conducteurs. Soit i l'intensité du courant passant dans la résistance à mesurer p. Si cette résistance varie de δp, les intensités des courants varieront dans les différents conducteurs et, en particu-

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 175-183 ; février 1895.

lier, dans le circuit galvanométrique. La variation qu'éprouvent ces courants est la même que si une force électromotrice $i\delta p$ était introduite dans la branche dont la résistance p fait partie. Pour que cette force électromotrice affecte le galvanomètre, il faut que l'un des circuits fermés du système contienne à la fois la résistance à mesurer p et la résistance galvanométrique g. S'il n'y avait aucune résistance dans ce circuit et si la résistance p ne faisait partie d'aucun autre circuit fermé, la variation δp produirait une variation $\delta\gamma$ de l'intensité du courant dans le galvanomètre donnée par l'expression

$$\delta\gamma = \frac{i\delta p}{p+g}. \qquad (1)$$

En réalité, ces conditions ne sont jamais satisfaites, mais, ainsi qu'on le verra plus loin, elles peuvent l'être approximativement dans toutes les méthodes utilisées pour la mesure des résistances. Par conséquent, l'égalité (1) nous fournira une limite inférieure de la variation de résistance δp capable de produire un effet sur le galvanomètre, si l'on y remplace i par l'intensité maxima i_m du courant qui peut passer dans la résistance p. On aura donc entre cette variation δp et la plus petite intensité de courant $\delta\gamma$ que le galvanomètre est capable de déceler, la relation

$$\frac{\delta p}{p+g} = \frac{\delta\gamma}{i_m}. \qquad (2)$$

De cette relation on déduit l'importante proposition qui suit :

Avec une résistance et un galvanomètre donnés, le quotient de la plus petite variation de résistance pouvant être décelée par la somme de la résistance donnée et de la résistance galvanométrique, est égal au quotient de la plus petite intensité capable d'influer sur le galvanomètre par l'intensité maxima du courant qui peut être lancé à travers les résistances.

D'ailleurs, on sait que pour des galvanomètres d'un même type, la déviation de l'aiguille est proportionnelle à la racine carrée de la résistance g de l'instrument. Par suite, $\delta\gamma$ est inversement proportionnel à cette racine carrée, et l'on déduit facilement de la relation (2) que le meilleur galvanomètre est celui pour lequel $g = p$; on a alors

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{2\delta\gamma}{i_m}, \qquad (3)$$

relation qui conduit à la proposition suivante :

Avec une résistance et un type de galvanomètre donnés, la plus petite variation de résistance, rapportée à l'unité qui peut être mesurée, est égale au double du quotient de l'intensité du courant minimum capable d'agir sur un galvanomètre ayant la même résistance que celle que l'on veut évaluer, par l'intensité maxima du courant qui peut être lancé dans le galvanomètre.

Si dans (3) on remplace $\delta\gamma$ par $\alpha / \sqrt{g}$, où α est un facteur de proportionnalité, il vient

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{2\alpha}{\sqrt{i_m^2 p}}, \qquad (4)$$

relation qui conduit à cette troisième proposition :

L'approximation la plus grande que l'on peut atteindre dans l'évaluation d'une résistance donnée est directement proportionnelle à la racine carrée du travail électrique maximum qui peut être développé dans cette résistance sans qu'il y ait échauffement nuisible de cette résistance.

Ces diverses propositions permettent de voir comment on doit choisir le galvanomètre et la résistance à mesurer pour avoir la plus grande précision.

Dans certains cas, on dispose jusqu'à un certain point de la résistance qu'il s'agit d'évaluer ; c'est ce qui arrive lorsqu'on a à construire un bolomètre ou un thermomètre à résistance de platine. La relation (2) montre que l'on a alors avantage à prendre p aussi grand que possible, pourvu que cet accroissement n'entraîne pas une diminution considérable du courant maximum i_m qui peut traverser cette résistance sans le chauffer d'une façon appréciable, ce que l'on peut toujours réaliser en augmentant la longueur du conducteur sans modifier sa section.

Mais le cas qui se présente le plus fréquemment est celui où l'on dispose de plusieurs galvanomètres du même type sans qu'il y en ait un qui ait exactement la résistance donnant le maximum de sensibilité. Pour reconnaître lequel de ces galvanomètres conviendra le mieux, remplaçons $\delta\gamma$ par $\alpha / \sqrt{g}$ dans la relation (1). Il vient

$$\delta p = \frac{p + g}{\sqrt{g}} \frac{\alpha}{i_m}.$$

Soit $g = np$ la résistance d'un des galvanomètres ; on a

$$\delta p = \sqrt{p} \frac{n + 1}{\sqrt{n}} \frac{\alpha}{i_m},$$

La comparaison de cette égalité avec l'égalité (3) montre qu'avec le galvanomètre de résistance np la sensibilité, est $\frac{2\sqrt{n}}{n+1}$ fois celle que l'on aurait avec le galvanomètre de résistance p. On voit en outre que la réduction de la sensibilité serait la même, si au lieu du galvanomètre de résistance np, on employait un galvanomètre de résistance $\frac{p}{n}$. Si l'on fait le calcul du coefficient de réduction pour diverses valeurs entières de n, on trouve que ce coefficient varie assez lentement et que, en particulier, pour $n = 5$ ou $n = \frac{1}{5}$ il a pour valeur 0,745. Par conséquent, on perd seulement 25 p. 100 environ de la sensibilité par l'emploi d'un galvanomètre de résistance cinq fois plus grande ou plus faible que celle qui conviendrait le mieux. En général, cette perte de sensibilité n'a pas une grande importance et on pourra donc, avec trois ou quatre galvanomètres du même type et de résistances graduées, mesurer avec une précision voisine de la précision maxima des résistances comprises entre des limites assez larges. D'ailleurs, comme le fait remarquer l'auteur, il est bon que ces galvanomètres soient du type à quatre bobines, construits en différentiels, car on pourra alors faire varier, par des connexions convenables des bobines, la résistance totale de chaque galvanomètre dans le rapport de 1 à 16. Ainsi, avec trois galvanomètres à quatre bobines dans lesquels ces bobines ont respectivement pour résistances 0,01, 4 et 1000 ohms, on peut mesurer des résistances comprises entre 0,0005 et 20.000 ohms avec une approximation différant de 25 p. 100 de l'approximation maxima. Avec un seul galvanomètre dont les bobines ont environ 10 ohms de résistance, on peut mesurer avec la même précision des résistances comprises entre 0,5 et 200 ohms.

Mais toutes ces considérations reposent sur cette hypothèse que les conditions dans lesquelles la formule (1) a été obtenue sont très approximativement remplies dans les diverses méthodes employées pour la mesure des résistances.

Dans la seconde partie de son Mémoire,

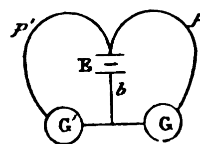


Fig. 1.

M. Schuster examine s'il en est ainsi dans les diverses méthodes que l'on emploie pour la comparaison des résistances.

La méthode la plus simple consiste dans l'emploi d'un galvanomètre différentiel. La figure 1 donne le schéma des circuits ; G et G' représentent les deux enroulements du galvanomètre, p la résistance à mesurer, p' la résistance de comparaison, E une pile de résistance intérieure b. Il est évident que l'équation (1) est applicable si cette résistance b est négligeable par rapport à $p + g$, car dans ce cas, une petite variation δp de la résistance p ne troublera pas d'une façon appréciable l'intensité du courant dans G' et produira le maximum d'effet dans l'enroulement G. Toutefois, il est nécessaire que le courant maximum qui peut passer dans p, puisse aussi passer dans g sans échauffer cette résistance d'une façon appréciable ; on a donc la condition

supplémentaire $\gamma_m \geqslant i_m$, γ_m étant le courant maximum qui peut passer dans g. Si l'on craint que cette condition ne soit pas remplie, on peut, comme le représente la figure 2, relier les enroulements galvanométriques en dérivation sur les résistances p et p' ; la condition supplémentaire devient alors $\gamma_m \geqslant i_m \frac{p}{g}$ et

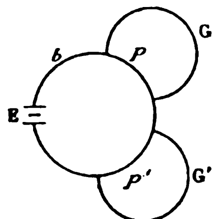


Fig. 2.

peut être plus facilement remplie que dans le cas précédent.

Une seconde méthode de mesure est représentée par la figure 3 ; la différence de potentiel entre les extrémités de la résistance p parcourue par le courant de la pile E est compensée au moyen d'une pile auxiliaire e, et la compensation est observée à l'aide d'un gal-

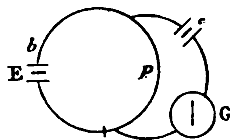


Fig. 3.

vanomètre ordinaire G. Dans ce cas on a, en désignant par q la résistance intérieure de la pile auxiliaire,

$$\frac{\delta p}{p + q + g} = \frac{\delta \gamma}{i_m},$$

et l'on retombe bien sur la relation (1) si la résistance q est négligeable par rapport à $p + g$.

Mais la méthode la plus souvent employée pour la comparaison des résistances est celle du pont de Wheatstone (fig. 4). Pour cette raison, l'auteur la discute avec soin.

Quand l'équilibre du pont est atteint, une variation δp de la résistance p produit dans le galvanomètre un courant d'intensité

$$\delta \gamma = \frac{r i \delta p}{g(s + r) + r(p + s)}, \quad (5)$$

p, q, r, s étant les résistances des branches et i l'intensité du courant dans la branche de résistance p. Si toutes les branches ont la même résistance, on a

$$\delta \gamma = \frac{i \delta p}{4p},$$

et par conséquent la plus petite variation de résistance que l'on puisse déceler est donnée par la relation

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{4 \delta \gamma}{i_m}.$$

Si on la compare avec la relation (3) on voit

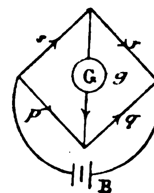


Fig. 4.

que l'on n'obtient ainsi que la moitié de la sensibilité maxima.

Dans le cas général, la résistance qu'il convient de donner au galvanomètre pour avoir la plus grande précision est donnée par

$$g = \frac{r(p + s)}{r + s}.$$

En portant cette valeur dans (4), on a

$$\delta p = 2(p + s) \frac{\delta \gamma}{i_m},$$

et en outre, on a

$$\delta \gamma = \frac{\alpha}{\sqrt{g}} = \frac{\alpha \sqrt{r + s}}{\sqrt{r(p + s)}};$$

par conséquent

$$\frac{\delta p}{p} = 2\alpha \sqrt{\left(1 + \frac{p}{q}\right)\left(1 + \frac{s}{p}\right)} \frac{\delta \gamma}{i_m}.$$

Cette relation montre que la mesure perd en précision quand s devient trop grand ou q trop

petit. Si, comme dans la méthode de Carey Forster, on fait $p = q$, on trouve que la sensibilité est à la sensibilité maxima dans un rapport plus petit que $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

Ainsi que le fait remarquer l'auteur, ces résultats supposent que, comme on l'a dit en commençant, on dispose d'une force électromotrice pouvant être augmentée à volonté. Si la force électromotrice était imposée *a priori*, les conditions du maximum de sensibilité seraient différentes ; elles ont été établies dans ce cas par M. O. Heaviside [1].

M. Ch. Eug. Guye [2], en discutant la meilleure disposition que l'on doit donner au pont de Wheatstone pour les mesures bolométriques, s'est placé dans les mêmes conditions que M. Schuster, mais dans le cas particulier où les résistances du pont sont égales deux à deux ; les résultats qu'il a obtenus concordent avec ceux de M. Schuster.

L'auteur termine son mémoire par quelques considérations sur l'emploi de la méthode du pont de Wheatstone. A son avis cette méthode ne mérite pas la faveur qu'elle possède puisqu'il résulte de la discussion précédente qu'elle ne peut donner la sensibilité maxima que l'on peut atteindre avec le galvanomètre différentiel; elle ne peut être avantageuse que si l'on craint l'échauffement de la résistance galvanométrique, qui est nécessairement plus grand avec la méthode différentielle qu'avec celle du pont; mais cette crainte lui paraît exagérée lorsqu'on emploie, comme c'est l'habitude, des courants de très faible durée.

J. B.

Sur quelques recherches nouvelles relatives au phénonène de Kerr, par M. Wind.

Dans cet exposé, fait devant la Société de physique de Berlin [3], M. Wind s'est occupé surtout d'un certain nombre de travaux publiés récemment en Hollande [1] sur le phénomène de Kerr (rotation du plan de polarisation par réflexion à la surface d'un aimant). M. Lorentz a donné, du phénomène une théorie qui a été longtemps considérée comme la plus satisfaisante; M. Wind rappelle les grands traits de cette théorie, reprise et développée par M. van Loghem. L'auteur part, dans son explication du phénomène de Kerr, des phénomènes découverts par Hall et qui consistent, comme l'on sait, dans le fait qu'un courant électrique qui passe dans une lame métallique mince, fait naître, sous l'influence d'un champ magnétique normal à la lame, une force électromotrice perpendiculaire au champ magnétique et au courant. Les recherches de MM. von Ettinghausen et Nernst ont suffisamment démontré que la grandeur de cette force électromotrice est proportionnelle à l'intensité du courant, et l'un des derniers travaux de Kundt montre qu'elle est proportionnelle à l'intensité d'aimantation, au moins dans les métaux magnétiques. M. Lorentz admet la proportionnalité à l'intensité du courant, mais la relation avec l'état magnétique est entièrement laissée de côté.

M. Lorentz en admettant, comme l'avait d'ailleurs déjà fait M. Rowland, que la force électromotrice transversale de Hall peut avoir pour cause, non seulement un courant de conduction ordinaire, mais encore un courant de déplacement, arrive aux formules suivantes, qui donnent la relation entre les composantes de la force électrique et celles du courant dans un milieu aimanté

$$X = \xi - hv, \quad Y = \eta + hu, \quad Z = \zeta;$$

X, Y, Z, désignant les composantes de la force électromotrice totale; ξ, η, ζ celles de la force électromotrice qui résulte des actions

(1) Heaviside. *Phil. Mag.*, t. XLV, p. 114, 1873.
(2) C. Eug. Guye, *Arch. des Sciences phys. et nat.*; janvier 1892.
(3) Séance du 2 novembre 1894 (*Wiedemann's Annalen*, février 1895).

(1) Lorentz, *Verst en Meded. d. Kon. Acad. v Wetensch Amsterdam* (II) XIX. 1884; van Loghem *Inauguraldiss.*, Leyded, 1883; Sissingh, *Arch. néerl.* XXVII, 1893/94 (*Wied. Ann.*, XLII, 1894); Zeeman, *Arch. néerl.* XXVII, 1893/94; *Comm. fr. t. Lab. o. Phys. o. Leyden.* nos 5, 8, 10, 1894; Wind (*ibid*) no 9, 1894; sept. 1894.

électrostatiques et de l'iduction ; u, v les composantes du courant perpendiculaire à l'axe des Z ; h est une constante qui ne dépend que de la nature et de l'état magnétique du milieu. Ces équations, jointes à celles de Helmholtz pour le mouvement de l'électricité constituent un système complet que M. Lorentz prend pour base de ses recherches.

En recherchant les mouvements d'électricité périodiques, qui satisfont à toutes ces équations et introduisant les conditions aux limites convenables pour la séparation de deux milieux, MM. Lorentz et von Loghem arrivent, dans le cas de la réflexion de la lumière sur un miroir métallique, aimanté parallèlement ou normalement, à ce résultat qu'un rayon lumineux polarisé dans le plan d'incidence ou dans le plan perpendiculaire doit se séparer, par réflexion, en deux composantes dont l'une est polarisée dans le même plan et l'autre perpendiculairement. La seconde composante est appelée magnéto-optique ; sous le nom d'amplitude et de phase, on désignera l'amplitude et la phase de cette composante, rapportées à celles de la première. La théorie conduit, pour l'amplitude et la phase, à des expressions en fonction de l'angle d'incidence, qui ne renferment que les constantes optiques du métal et, pour l'amplitude, la constante h.

Les expériences de M. Kaz [1] sur le fer aimanté normalement ont vérifié d'une façon suffisante les résultats de von Loghem ; c'est à M. Sissingh qu'on doit les premières recherches étendues et très précises sur ce sujet. Les expériences se rapportent au fer aimanté parallèlement. L'analyseur et le polariseur étant croisés, on faisait reparaître une faible lueur en aimantant le miroir; on mesurait l'angle dont il fallait tourner l'un des nicols ou tous les deux pour produire la disparition ou le minimum de la lumière. Les rotations à mesurer ayant une valeur moyenne de 3 minutes, on ne peut les déduire que d'un grand nombre d'observations ; la phase, pour un angle d'incidence déterminé, se déduit de 350 mesures.

La comparaison de l'expérience avec la théorie conduisit à un résultat remarquable ; il y avait accord pour les valeurs de l'amplitude, mais pour celles de la phase, on constata une différence, à peu près constante, de 85°. Nous appellerons cet excès S différence de phase de Sissingh.

M. Sissingh montre, à la fin de son travail, que ses observations s'accordent dans l'ensemble avec celles de MM. Kerr, Kundt et Righi qui, dans leurs recherches, se sont surtout occupés de l'angle d'incidence, pour lequel l'une des rotations change de signe. En calculant la phase et l'amplitude par les expériences de Righi, il a déduit encore, malgré l'insuffisance des nombres cités, l'existence de la différence de phase qu'il avait observée. Une question se posait alors, celle de savoir si, dans le fer aimanté normalement, la même différence existait et si elle avait la même valeur ou une valeur différente.

Ce fut M. Zeeman, qui avait déjà collaboré aux recherches de M. Sissingh, qui fit le premier des expériences. Il trouva aussi une différence de phase de 80° environ, avec une dispersion très notable. Les observations par lesquelles MM. Kundt et du Bois avaient démontré que les rotations minima sous l'incidence normale sont proportionnelles à l'aimantation ne peuvent servir au calcul de la phase ; des résultats de MM. Kaz et Righi on n'a pas pu déduire la constante de la phase ni du rapport des amplitudes. Par contre, le rapport des amplitudes dans le cas de l'aimantation parallèle (Sissingh) et de l'aimantation normale (Zeeman) vérifiant d'une façon suffisante une conséquence nécessaire de la théorie. M. Zeeman a ensuite établi que, pour le cobalt, la différence de phase de Sissingh a une valeur moyenne de 50° et a déterminé la dispersion ; les expériences de M. Drude n'ont pu servir au calcul. Enfin le même auteur a trouvé, pour le nickel, une différence de phase de 30°, pour une seule incidence.

Il semble résulter de tous ces travaux, l'existence d'une différence de phase de Sissingh, à peu près constante lorsque l'angle d'inci-

[1] Kaz, *Inauguraldiss*, Amsterdam, 1884.

dence varie entre des limites très étendues, pour les métaux fortement magnétique.

M. Goldhammer (¹), en complétant les équations qui servent de base à ses études sur la théorie de Maxwell, par l'addition de termes assez arbitrairement choisis, est arrivé à obtenir, pour la phase et l'amplitude des composantes magnéto-optiques, des expressions qui ne s'écartent de celles de Lorentz que par une différence de phase constante. Cette théorie, dont les résultats s'accordent bien avec les expériences de MM. Sissingh et Zeeman, n'est nullement basée sur un rapprochement intime entre les phénomènes de Hall et de Kerr. Les termes additionnels renferment une constante complexe indéterminée, c'est-à-dire deux quantités à déduire de l'expérience.

M. Drude a publié presque simultanément (²) un mémoire sur la question. Ce savant, qui a cherché à suppléer à l'insuffisance de la théorie de M. Lorentz, part des équations fondamentales de Maxwell, complétées par l'addition de certains termes, qui ne renferment qu'une constante. Cette réduction à une seule constante provient, comme l'a remarqué M. Goldhammer, du fait que, dans la théorie de M. Drude, la quantité S pourrait se calculer à l'aide des constantes optiques ordinaires, tandis que, dans la théorie de M. Goldhammer, S est une constante spéciale au phénomène. De la théorie de M. Drude résulterait, par exemple, que les valeurs de S pour le nickel et le cobalt seraient très peu différentes et voisines de 60°, tandis que les expériences de M. Zeeman ont donné respectivement 50° et 30°. En outre, cette théorie donne une dispersion qui, contrairement à l'expérience, serait de signe contraire à celle du cobalt.

De la discussion qui suivit la publication de ces deux théories, M. Wind ne retient qu'un fait, à savoir que, de l'aveu même de M. Drude, les expériences de M. Zeeman ont tranché la question en faveur de la théorie de M. Goldhammer.

(¹) *Wied. Ann.*, XLVI, 1892.
(²) *Wied. Ann.*, XLVI, 1892.

Il restait, pour démontrer l'existence d'une différence de phase à peu près constante quand on fait varier l'amplitude, à exécuter sur le nickel des observations suffisamment étendues, fournissant le même résultat que celles qu'on avait faites sur le fer et le cobalt.

M. Wind a effectué des mesures ; les nombres suivants donneront une idée de la constance de la quantité S, constance qui est la même que dans les travaux précédents :

S.	Angle d'incidence
38° 2'5 ± 11'	39°4'
36° 23' ± 28'	55°
37° 8'5 ± 30'	75°

Le premier chiffre est moins certain que les deux autres, parce que l'élévation de température produite par le courant influait beaucoup sur les propriétés magnétiques ; dans les séries suivantes on a atténué cette cause d'erreur et on en a tenu compte ; en moyenne on trouve, pour la lumière du sodium, $S = 36°,44' \pm 20,5$. Ce nombre concorde avec celui qu'ont fourni de récentes recherches de M. Zeeman : $S = 36°,21' \pm 15'$.

Quant au rapport des amplitudes, sa constance est loin de ressortir aussi nettement de toutes les séries d'observations que celle de la différence de phase. La cause en est peut-être dans la difficulté qu'il y a à mesurer l'aimantation du miroir employé et dans le fait que la théorie ne tient pas compte, d'une façon convenable, de l'état magnétique.

M. Wind a essayé de perfectionner la théorie de M. Lorentz, en conservant son caractère essentiel, qui est de baser l'interprétation des phénomènes à expliquer sur le phénomène de Kerr ; il lui a suffi, pour retrouver les formules de M. Goldhammer, de modifier légèrement les hypothèses de cette théorie. M. Lorentz avait admis que l'effet Hall se produit aussi bien sur les courants de déplacement que sur les courants de conduction qui constituent avec eux le mouvement lumineux, et que l'intensité seule du courant détermine la grandeur de l'effet. M. Wind pense qu'il est plus rationnel d'admettre que le coefficient constant n'est pas le même pour les deux

espèces de courant ; on introduit ainsi une seconde constante k, différente en général de h, mais ayant mêmes dimensions ; on ne peut plus déduire la valeur de cette constante des observations de Hall. Les équations fondamentales deviennent alors :

$$X = \xi - hv_1 - kv_2, \quad Y = \eta + hu_1 + ku_2, \quad Z = \zeta ;$$

les indices 1 et 2 se rapportent respectivement au courant de conduction et au courant de déplacement. On retrouve ainsi, par une modification extrêmement simple. les résultats de M. Goldhammer ; on obtient en outre une relation entre S et $\frac{k}{h}$ qui permet de déduire l'une de ces quantités de l'autre.

Des observations de MM. Sissingh et Zeeman ainsi que les siennes, M. Wind déduit, pour k/h une valeur de 4,0 environ dans le cas du nickel ; pour le cobalt le rapport serait positif et à peu près du même ordre de grandeur que pour le nickel. M. J.-J. Thomson (1) donne pour les valeurs de h dans le nickel, le colbalt et le fer des quantités proportionnelles à − 14, 7, + 2, 5, + 7, 8. M. Wind pense que la valeur très faible obtenue avec le cobalt pourrait peut être, en variant les conditions de l'expérience, changer de signe, de façon que k prenne pour les trois métaux le même signe et des valeurs du même ordre de grandeur.

La valeur absolue de h pourrait se déduire des expériences sur le phénomène de Hall; mais la formule contient la résistance spécifique du métal et l'on sait que la valeur qu'il faut donner à cette constante, pour faire concorder avec l'expérience les résultats de la théorie de la réflexion métallique, diffèrent beaucoup de la valeur mesurée dans les conditions ordinaires; il n'y a donc pas à s'étonner que la valeur de h ainsi calculée diffère beaucoup de celle que donne directement l'expérience de Hall. Il est probable d'ailleurs que cette valeur changerait si on employait des courants alternatifs de courte période.

M. J.-J. Thomson (*loco cit.*, p. 501) pense que, dans le phénomène de Kerr, le courant de déplacement joue seul un rôle ; M. Wind combat cette conclusion qui lui semble basée sur une comparaison trop rapide avec l'expérience. Il remarque que sa théorie modifiée donne, quand on fait l'hypothèse que k est nul, la même valeur de S que celle de M. Drude.

C. R.

(1) *Recent researches in Electricity and Magnetism*, p. 488.

Sur la luminescence du verre due aux rayons cathodiques, par J. Burke (1).

Il y a plus d'un siècle, un physicien italien, Beccaria (2), constata que le verre d'une ampoule vide d'air devient lumineux au moment où on la brise, et, d'une longue série d'expériences faites dans des conditions diverses, il conclut que cette luminescence était due au choc de l'air contre le verre. Plus tard, Crookes expliqua de la même façon, par un bombardement moléculaire, la luminescence du verre sous l'influence des rayons cathodiques. La discussion qui s'est élevée récemment à propos de la nature de ces rayons (3) donnait donc une importance considérable aux anciennes expériences de Beccaria ; c'est pour cette raison que M. Burke a cru devoir les reprendre.

Une première série d'expériences consistait à briser dans la chambre noire un grand nombre de lampes à incandescence hors d'usage de diverses dimensions. Quand l'observateur se trouvait dans l'obscurité depuis 15 à 30 minutes, il apercevait une lueur blanche, durant une très petite fraction de seconde. L'intensité de cette lueur dépendait des dimensions de la lampe : les grandes ampoules ayant un diamètre de 7 à 8 cm. donnaient une lueur très nettement visible ; avec des ampoules ayant un

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 115-122 ; janvier 1895.

(2) *Recent researches* de J.-J. Thomson, p. 119. *History of Electricity*, de Priestley, p. 294.

(3) Voir la *Lumière électrique*, t. LII, p. 291 et 337. *L'Eclairage électrique*, t. I. p. 440.

diamètre inférieur à 2 cm., aucun effet lumineux n'était perçu.

Dans une autre série, l'auteur prenait un récipient de verre dont l'ouverture, de 5 cm. de diamètre, était fermée par un disque de verre de 7 cm. de diamètre et de 2 mm. d'épaisseur. On raréfiait l'air du récipient jusqu'à une pression de 20 mm., puis on brisait le couvercle d'un coup de marteau. L'effet lumineux était plus marqué qu'avec les lampes, et, outre une lueur uniforme, on observait un grand nombre de faisceaux lumineux de différentes largeurs. Dans quelques cas, la largeur des faisceaux était exceptionnellement grande ; on constata que, dans ces cas, les débris du couvercle étaient aussi relativement grands et avaient souvent 7 à 8 cm. de surface. Cette remarque semble indiquer que ce sont ces fragments de verre qui deviennent lumineux, et que la lueur uniforme, observée surtout avec des lampes, doit être attribuée à la luminescence de très petits fragments.

En changeant la nature du verre du couvercle, on ne remarqua aucune différence appréciable dans les effets lumineux obtenus. Avec des couvercles formés de minces plaques de fonte et d'acier, on n'observait pas de lumière, ce qui tient peut-être à ce que les fragments résultant de la rupture sont moins nombreux qu'avec le verre, ou à ce que l'air ne pénètre pas dans le récipient aussi soudainement que dans ce dernier cas.

D'autres expériences furent faites avec des gaz autres que l'air. Dans ce but, un tube cylindrique de verre était placé au-dessus du couvercle du récipient où l'on fait le vide. Ce tube était fermé à sa partie supérieure et était rempli d'oxygène ou d'anhydride carbonique. On brisait le couvercle du récipient en laissant tomber sur lui un petit poids maintenu dans le haut du tube par un support que l'on pouvait manœuvrer de l'extérieur. Les phénomènes observés furent les mêmes que dans les conditions précédentes.

Lorsqu'on faisait le vide dans le récipient et dans le tube qui le surmontait, la rupture du couvercle ne donnait lieu à aucun phénoméne lumineux ; ce résultat montre bien que la présence d'un gaz est indispensable à la production du phénomène étudié.

Néanmoins, trois hypothèses peuvent être faites :

1° Le choc violent des molécules gazeuses contre le verre est la cause de la luminescence de ce verre.

2° Cette luminescence est due aux chocs des fragments de verre les uns contre les autres ou contre les parois du récipient.

3° Elle résulte du développement d'électricité produit par le frottement de l'air contre le verre et serait alors analogue à celle qui est produite par le frottement du mercure contre le verre d'un tube barométrique.

Pour reconnaître si la luminescence est bien due aux chocs des molécules gazeuses contre le verre, l'auteur exécuta diverses expériences. Dans quelques-unes, une vessie était fixée à la partie supérieure d'un récipient où l'on raréfiait l'air. Quand la pression de l'air raréfié était d'environ 20 mm., on provoquait la rupture de la vessie. On constatait la production d'un faisceau de lumière jaunâtre descendant à l'intérieur du récipient, mais seulement perceptible dans la région la plus haute. L'aspect général de cette lumière jaunâtre semblait indiquer qu'elle était due, au moins partiellement, à une combustion des fragments de la vessie enflammée, soit par le frottement de l'air, soit par la déchirure brusque de la vessie.

Si l'on disposait au milieu du récipient divers objets en verre, on constatait, ainsi que l'avait observé Beccaria, qu'ils devenaient lumineux. Mais ce phénomène pouvait être attribué à la chute des parcelles de vessie enflammées sur ces objets. Pour éliminer cette complication, l'auteur disposa au-dessus de ces objets une toile à mailles plus ou moins larges, formée de divers matériaux, destinée à arrêter dans leur chute ces parcelles en combustion. Il constata que les objets situés au-dessous de la toile cessaient de devenir lumineux, bien que cette toile n'empêchât pas les molécules gazeuses de venir frapper avec force contre ces objets.

Dans d'autres expériences, le récipient cylindrique était formé, comme dans les premières recherches, par une plaque de verre. Après avoir fait le vide, on brisait la plaque au moyen d'un marteau mû par un électro-aimant. La portion du récipient située au-dessus de la toile tendue présentait les phénomènes lumineux déjà indiqués. Mais si, au moyen d'un écran convenablement disposé, on rendait invisible cette partie du récipient, on constatait que la portion située au-dessous de la toile restait obscure ainsi que les divers objets de verre qu'on y plaçait. La toile, en arrêtant les débris de verre, arrêtait donc en même temps le phénomène lumineux.

Enfin, l'auteur rechercha si un gaz fortement comprimé lancé contre la surface d'un morceau de verre rendait celui-ci lumineux; il n'obtint que des résultats négatifs.

Ces divers résultats ne paraissent pas d'accord avec la première hypothèse.

Pour reconnaître si la seconde hypothèse est préférable, M. Burke prit un récipient cylindrique portant à sa partie supérieure une plaque de verre épais percée d'un trou fermé par une feuille de papier. Sur cette feuille étaient placés de nombreux morceaux de verre, et sur le tout était posé un disque de verre. On faisait le vide dans le récipient et on tirait brusquement sur le côté le disque de verre ; la feuille de papier était crevée et les morceaux de verre qu'elle supportait étaient brusquement projetés dans le récipient. On observait une lueur traversée par des faisceaux de lumière plus intenses; en un mot, on observait les mêmes phénomènes que dans une des séries d'expériences indiquées au début, à cela près qu'ils étaient moins intenses. Lorsqu'on plaçait au-dessus de la feuille de papier une seule plaque de verre et qu'on disposait au fond du récipient cylindrique une couche de coton pour empêcher cette plaque de se réduire en fragments, on n'observait qu'une seule étincelle paraissant due au choc de la plaque, qui tombait presque verticalement contre la paroi intérieure du récipient.

Ces expériences semblent donc justifier la seconde hypothèse.

L'auteur a enfin voulu s'assurer s'il ne serait pas possible d'adopter la troisième hypothèse qui présente une assez grande vraisemblance. Les quelques expériences qu'il a imaginées dans ce but ne lui paraissent pas de nature à la faire adopter.

En résumé, les expériences de M. Burke, bien qu'elles ne puissent nous fournir avec certitude l'explication des phénomènes observés pour la première fois par Beccaria, nous montrent que l'hypothèse d'un bombardement par les molécules gazeuses ne peut servir à les expliquer. Il ne semble donc pas que cette même hypothèse puisse expliquer la luminescence produite par les rayons cathodiques.

J. B.

Sur la résistance électrique de quelques alliages nouveaux, par M. Ed. Van Aubel (1)

Il y a quelques mois, nous indiquions (2), d'après M. Price, les propriétés spécifiques des alliages communément employés pour la construction des bobines de résistances : l'argent allemand, l'alliage platine-argent, le platinoïde et la manganine. Depuis, quelques alliages ont été fabriqués en Allemagne et essayés à l'Institut physico-technique de Charlottenbourg. Nous empruntons à la note de M. van Aubel les renseignements qui suivent sur ces nouveaux alliages.

« 1. *Kruppine.* — Cet alliage est fabriqué aux aciéries de M. Fried. Krupp à Essen (Prusse). Cet acier a été soumis à deux séries d'expériences à l'Institut physico-technique.

« Dans une première série d'expériences, le fil a été recouvert d'une couche de gomme laque et chauffé ensuite pendant plusieurs heures à 150° C., puis pendant deux heures à 200° C.

(1) *Journal de physique* [3] t. IV p. 72-75. Février 1895.

(2) L'*Eclairage électrique*, t. I. p. 42.

« Les mesures de résistance ont été faites alors successivement aux températures de 150° C., 100° C., 50° C. et à la température du laboratoire.

RÉSULTATS

Poids spécifique	Résistance spécifique à 18° C en microhms $\frac{cm}{cm^2}$	Coefficient moyen de température
8,107	84,7	entre 18° et 50° : 0,000791
		entre 18° et 100° : 0,000766
		entre 18° et 150° : 0,000749

« Dans la seconde série d'expériences le fil a été chauffé auparavant, pendant plusieurs jours, à 170° C.

RÉSULTATS

Résistance spécifique à 20° en microhms $\frac{cm}{cm^2}$	Coefficient moyen de température
85,5	entre 25° et 73° : 0,00076
	entre 73° et 123° : 0,00069
	entre 123° et 154° : 0,00066

« Le tableau suivant permet de comparer la kruppine à d'autres alliages dont on se sert pour les résistances électriques.

Métaux	Résistance spécifique en microhms $\frac{cm}{cm^2}$	Coefficient de température
Maillechort	20,76 (à 0°)	0,00044
Manganine	34,0	presque nul + 0,000008 à + 0,000018
Constantan	50	presque nul
Rhéotan	52,5 (à 0°)	0,00041
Acier au manganèse	75 (à 15° C)	0,00136
Ferro-nickel	78,3 (à 0°)	0,00093
Kruppine	85,5 (à 20° C)	0,0007
Mercure liquide	94,34 (à 0°)	0,00072

« Comme on le voit, le nouvel acier fabriqué à l'usine Krupp a une très grande résistance électrique, qui est seulement de 10 p. 100 plus faible que celle du mercure.

« Une autre propriété très importante de cet alliage, c'est de pouvoir être porté à une température de 600° C. sans subir le moindre changement de structure; il est loin d'en être de même des métaux et surtout des alliages employés jusqu'ici pour résistances électriques.

« Enfin, au point de vue mécanique, la kruppine présente une résistance absolue de 60 kilogr. par millimètre carré.

« Cet acier est fabriqué en fil ayant un diamètre compris entre 0,5 mm. et 5 mm. Entre 0,5 mm. et 2 mm. le diamètre du fil peut varier de 0,25 mm.; entre 2 mm. et 5 mm., il peut être augmenté de 0,5 mm.

« La kruppine est aussi livrée en lame ayant une épaisseur de 0,5 mm., 1 mm., 2 mm., 3 mm. ou 4 mm.

« 2. *Alliages fabriqués par les laminoirs de nickel de MM. Fleitmann, Witte et Cie, à Schwerte (Westphalie).* — Ces alliages ont été étudiés sous forme de fils.

« Les expériences ont été faites de la manière suivante : les deux bouts du fil ont été soudés à de petits blocs de cuivre. Après avoir déterminé la longueur et le diamètre du fil, on l'a enroulé sur une lame de mica et chauffé dans une étuve, pendant vingt-quatre heures, à une température de 130° C. La résistance électrique du fil a été mesurée à différentes températures, dans un bain de pétrole, par la méthode du pont de Wheatstone. Ces mesures ont donné les résultats indiqués dans le tableau suivant :

Désignation du fil	Etat physique	Résistance spécifique en microhms $\frac{cm}{cm^2}$	Coefficient de température
Fil breveté pour résistances *extra*	dur	53,1	— 0,000029
— — — —	doux	50,3	+ 0,000059
Fil breveté pour résistances Ia Ia	dur	50,2	— 0,000011
— — — —	doux	47,1	+ 0,000005
Fil de nickeline brevetée I	dur	43,6	+ 0,0,0076
— — —	doux	40,7	+ 0,000077

« Ces résultats montrent que les nouveaux alliages ont une résistance électrique très grande et un coefficient de température très faible.

« L'alliage *fil breveté pour résistances électriques* I^a I^a, notamment, a une résistance électrique supérieure et un coefficient de température plus faible que la manganine adoptée actuellement par l'Institut physico-technique allemand pour la construction des résistances électriques de précision.

« Toutefois, de nouvelles recherches sont nécessaires pour déterminer si le nouvel alliage convient pour cet usage. Peut-être présente-t-il, entre autres, les mêmes inconvénients que le constantan, c'est-à-dire qu'il donne lieu, avec le laiton, à un élément thermo-électrique ayant une force électro-motrice notable. »

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Ancemont (Meuse). — MM. Vanty, qui exploitent à Ancemont une scierie à vapeur et une fabrique de parquets, ont installé depuis peu la lumière électrique dans leur usine. Cette innovation a été appréciée par les habitants d'Ancemont qui n'ont pas tardé à imiter l'exemple. Aujourd'hui l'éclairage électrique existe dans les rues de la commune et à l'église paroissiale.

Bordeaux. — Les visiteurs de la prochaine exposition de Bordeaux y trouveront la « maison électrique » moderne pourvue de toutes les nouvelles applications de l'électricité à la vie domestique.

On y goûtera la cuisine à l'électricité, au dire des gourmets bien supérieure à la cuisine ordinaire. Un ascenseur électrique desservira tous les étages et nous conduira dans tous les appartements, chambres, cabinets de toilette installés avec tout le confort moderne; on y verra fonctionner tous les appareils d'éclairage et d'appel, avertisseurs d'incendie, etc. La salle de bains sera pourvue de toutes les applications de l'électricité à l'hygiène. Un atelier de photographie pourra être établi au dernier étage; et du haut de la tour qui dominera la construction, enfin, un projecteur électrique inondera de ses flots de lumière les jardins de l'exposition.

Dijon. — A un certain moment, les journaux de la région avaient très mal accueilli la traction électrique à Dijon. Il faut croire qu'aujourd'hui leur opinion est mieux éclairée.

Nous apprenons, en effet, que les habitants de la rue du Drapeau et des rues avoisinantes viennent d'envoyer au maire de Dijon une pétition pour que la Compagnie des tramways électriques prolonge la ligne de la barrière d'octroi de Beaune à la caserne Heudelet jusqu'à l'octroi de la route de Langres.

D'autre part, la ligne de la place Saint-Etienne à la gare de Dijon-Porte-Neuve vient d'être terminée et livrée à la circulation.

L'administration des tramways électriques a d'ailleurs pris une excellente mesure en créant des abonnements qui, moyennant 100 francs par an, donnent le droit de circuler sur tout le réseau.

Draguignan. — L'éclairage électrique ne tardera pas à faire son apparition dans cette ville. Le maire vient, en effet, d'ouvrir une enquête *de commodo et incommodo* sur les dispositions du projet d'éclairage à la lumière électrique de la ville et notamment sur le choix des emplacements des supports, des conducteurs, et des lanternes destinées à l'éclairage.

Lorient. — Un ingénieur, représentant d'une société d'électricité, est en ce moment à Lorient à l'effet d'étudier l'installation d'une ligne de tramways électriques à fil aérien.

L'intention de cette société serait d'établir une ligne de tramways entre Calvin et Carnel.

La localité de Merville serait desservie par une autre ligne partant de la place Bisson.

Montpont-sur-l'Isle (Dordogne). — La station électrique a été inaugurée le 1er décembre dernier et fonctionne depuis régulièrement. Une turbine Fontaine de 40 chevaux, installée par la maison Bonnet, de Toulouse, actionne, à l'aide de courroies, 2 dynamos de 110 ampères sous 115 à 120 volts. La distribution se fait à 3 fils.

L'éclairage municipal comprend 30 lampes de 20 bougies pour lesquelles la ville paye seulement 1.000 francs par an. Il y a 110 lampes actuellement installées et le concessionnaire, M. Puel, espère arriver facilement à 200 l'hiver prochain.

Les prix d'abonnement mensuel pour la lampe de 16 bougies sont fixés pour les cafés, hôtels, etc., à 4 francs, et pour les magasins, et appartements à 3 fr. 75. Il y a, en outre, des réductions, selon le nombre de lampes. Pour les gros consommateurs éventuels, le courant serait fourni au compteur, à 70 centimes le kilowatt-heure.

L'énergie est fournie toute l'année de la chute du jour à minuit. De plus, du 15 octobre au 15 mars, l'usine fonctionne de cinq heures du matin au lever du soleil. Les installations sont faites chez les abonnés au prix de 15 à 18 francs par lampe.

Le Muy (Alpes-Maritimes). — L'adjudication de l'éclairage électrique de cette ville a eu lieu ces jours derniers. M. F. Souchier, de Marseille, a été déclaré adjudicataire.

Oran. — De même que celle d'Alger, la population oranaise demande à grands cris l'éclairage électrique. Mais si à Alger c'est la Compagnie du gaz qui crée des difficultés, on en est réduit à Oran à agiter des projets plus ou moins fantaisistes d'utilisation de la force motrice des vagues. Non pas qu'il y ait dans ces projets une impossibilité quelconque; mais d'après les propositions qui ont été faites on peut juger que la question a été bien superficiellement étudiée. L'un des inventeurs voudrait que l'on établît dans la mer 8 flotteurs de 80 tonnes, chacun, dont les mouvements verticaux occasionnés par le remous des vagues actionneraient des pompes. Ces pompes refouleraient l'eau dans un réservoir de 36.000 mètres cubes situé à 300 mètres d'altitude sur la montagne de Santa Cruz. Des turbines actionnées par cette eau accumulée fourniraient 2.000 chevaux et, en outre, on distribuerait l'eau dans la ville.

Pour obtenir ce résultat et installer toute la canalisation électrique, l'auteur du projet ne demande qu'un demi-million; mais promet, par contre, 46 p. 100 de dividendes, un véritable placement de père de famille, comme on voit.

Paramé. — Le Conseil municipal de Paramé a examiné dans sa dernière réunion, la question de l'éclairage à l'électricité. Dans une prochaine réunion, l'affaire sera sans doute conclue définitivement.

Toulon. — A Toulon, l'éclairage électrique va être étendu par les soins de la municipalité au boulevard de Strasbourg, qui deviendra ainsi une des plus belles promenades de la ville. Pour faire jouir les habitants de l'avenue Colbert du même avantage on n'a pas été aussi libéral. On demande, en effet, aux propriétaires riverains de faire les frais de l'installation. Il est vrai que le sacrifice ne serait pas bien grand, et se traduirait pour chacun d'eux par une dépense de 20 francs.

Toulouse. — Par suite de la récente crue du Tarn, l'éclairage électrique n'a pas fonctionné pendant deux jours.

Les consommateurs d'électricité se sont réunis au café Delmas en vue de sauvegarder leurs intérêts dans le différend survenu entre la ville et la Compagnie Fiche.

Les consommateurs de gaz seront peut être amenés à se joindre aux consommateurs d'électricité.

On parle d'une vaste grève qui serait organisée contre la Compagnie du gaz.

Le système métrique en Angleterre. — Depuis quelques années, différents industriels anglais, conscients des inconvénients de leur système de poids et mesures, s'efforçaient de faire adopter le système métrique. Mais dans la vieille Albion, on n'abandonne pas facilement les traditions. Récemment encore, le Comité des poids et mesures de la Chambre des communes s'occupait de la question. Le Board of Trade est autorisé à vérifier les poids et mesures métriques pour la science et l'industrie; mais... il est défendu de les employer dans le commerce. Ce qu'il y a de curieux, c'est que dans les écoles primaires on apprend aux enfants les principes du système métrique, dans l'hypothèse que la nation l'adoptera.

Ces contradictions montrent que nos voisins sont bien près de venir au système métrique ; ils y sont d'ailleurs les premiers intéressés.

Le graphophone au bureau téléphonique central de Boston. — En Amérique on a plusieurs fois essayé d'employer dans les bureaux centraux un dispositif pouvant donner à l'abonné un signal lorsque la ligne demandée est occupée; les employés, qui ont déjà beaucoup de paroles à dépenser dans leur service, auraient eu ainsi une fatigue de moins. La Compagnie téléphonique de Boston a essayé d'employer dans ce but le graphophone,

qui a pour fonction de moudre continuellement dans la ligne de l'abonné la phrase : « La ligne est occupée, appelez dans cinq minutes. » Quand elle trouve la ligne demandée occupée, l'employée relie pendant quelques instants la ligne de l'appelant avec le circuit du graphophone, qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner constamment.

Le cylindre du graphophone doit être changé tous les jours; et il faut naturellement inscrire sur les nouveaux cylindres la fameuse phrase dont la répétition ininterrompue a, dans les débuts, quelque peu étonné les abonnés.

Projets de transmission de force en Italie. — M. Azari Mario, ingénieur civil à Milan est concessionnaire de trois transmissions de force motrice des Alpes italiennes, en Lombardie et au Piémont. La force motrice doit être fournie par des chutes d'eau de glaciers.

1° Du ravin de Toce (Domodossola) à Milan, Gallarate, Busto, Castellanza, Legnano et Monza. Ces villes emploient actuellement 30.000 chevaux. La force motrice disponible du Toce est de 47.000 chevaux, et la puissance probable des moteurs électriques à installer est évaluée à 18.000 chevaux.

2° De la vallée de la Cenischia (Susa) vers Turin et les centres industriels environnants du Piémont. Puissance hydraulique disponible 20.000 chevaux; puissance des moteurs 9.000 chevaux.

3° Du val Gressoney à Bielle et environs. Puissance hydraulique disponible 7.000 chevaux; puissance des moteurs 3.000 chevaux.

D'après le concessionnaire, le prix de revient de la force motrice pour les industriels serait inférieur de moitié aux frais des machines à vapeur.

Tuyaux isolateurs à armature de fer. — Pour les endroits humides tels que caves, brasseries, teintureries, usines, soutes de navires, etc., la maison Bergmann, de Berlin, fabrique un nouveau tuyau isolateur d'une solidité à toute épreuve. Un tuyau en matière isolante est introduit dans un tuyau de fer et l'intervalle est rempli d'une composition fondue. Les bouts des tuyaux de fer sont filetés et les différentes longueurs s'assemblent comme les tuyaux à gaz ordinaires; pour les joints on emploie du minium.

La téléphonie en Amérique. — Depuis l'extinction du brevet Bell, de nombreuses sociétés téléphoniques se fondent en Amérique. La plupart ne cherchent qu'à installer de petits réseaux, mais il y en a quelques-unes qui font une sérieuse concurrence à l'American Bell Telephone Company. L'une de celles-ci est la Chicago Interior Telephone Company qui recherche l'autorisation d'établir des lignes à Chicago. Elle est propriétaire d'un brevet important, qu'elle a cédé pour l'Etat de Missouri à une société qui vient de s'établir à Saint-Louis, avec un capital de 5 millions de francs, pour introduire dans cette ville un service téléphonique meilleur marché. Les taxes seront fixées à 10 francs par mois, plus 25 centimes par conversation.

L'électricité au théâtre. — La machinerie théâtrale est susceptible de bien des perfectionnements. Tout ou presque tout s'y fait par la main de l'homme, à l'aide d'un nombreux personnel, avec beaucoup de bruit, beaucoup de lenteurs et d'imperfection.

On vient d'installer au théâtre de la Cour, à Munich, une série d'ingénieux appareils électriques destinés à remplacer les machinistes dans la plupart de leurs fonctions; l'établissement des praticables étant à peu près seul excepté.

Les expériences longues et minutieuses auxquelles on a soumis ces appareils, dus à M. C. Lautenschlaeger, ayant donné pleine satisfaction, l'installation sera prochainement inaugurée devant le public. L'énergie électrique nécessaire est empruntée à la distribution que fournit déjà l'éclairage.

Les employés des services électriques bénéficient de la sollicitude que le public montre envers les applications de l'électricité aux services publics. Il n'y en a pas de meilleur exemple que le suivant:

Grâce aux bons soins du Comité de la salle de lecture du Petit-Saconnex (près Genève), durant les mois de janvier et février, chaque employé du tramway électrique Genève-Petit-Saconnex trouvait tous les matins un déjeuner chaud servi à son arrivée à cette dernière station.

Les méfaits de l'électricité. — L'incendie qui a éclaté l'autre soir au Casino de Paris est attribué

par quelques-uns — on pouvait s'y attendre — à l'électricité. D'après un quotidien, il faudrait en chercher la cause dans le défaut de garniture de deux fils électriques servant à l'éclairage de la scène. Des étincelles auraient jailli sur la baleine qui se serait trouvée immédiatement enflammée.

Bien inflammable, ce cétacé! Et nous qui croyions aux propriétés isolantes de son derme!

Le labourage électrique. — De nouveaux essais de labourage à l'électricité viennent d'être institués à Halle, en Allemagne :

On a monté sur une charrue un électro-moteur, qui, recevant le courant électrique d'une ligne à deux conducteurs supportée par de petits chariots pour éviter son frottement contre le sol, transmet son mouvement à une noix à empreintes sur laquelle passe une chaîne calibrée, ancrée à ses deux extrémités. La charrue électrique se remorque ainsi sur une chaîne comme le fait un bateau toueur dans une rivière. D'après les rapports officiels qui ont été publiés, voici quelques résultats obtenus.

La charrue à deux raies travaillant dans un sol argileux dur et collant, nécessite un effort, de la part de l'électromoteur fixé sur elle, de 12 chevaux (8.000 watts). La génératrice du courant développe en nombre rond 15 chevaux. La charrue labourait deux sillons de 0,60 m. de largeur sur 0,24 m. de profondeur : la traction de la chaîne était en moyenne de 650 kil., et atteignait parfois 700 kil. La vitesse de la charrue était de 0,90 m. par seconde, ce qui représente une puissance utile de 8 chevaux.

Le prix d'achat total de l'installation pour une charrue à deux socs étant d'une dizaine de mille francs, le prix de revient d'une journée de labourage à l'électricité s'établirait ainsi :

Salaire d'un chauffeur	4,35
— de 2 hommes	6,30
— d'un jeune garçon	1,85
Charbon (400 kilogs)	11,25
Transport d'eau	6,25
Huile	3,75
Intérêt et amortissement	15 »
Entretien et réparations	2,50
Total	51,25

Comme dans une journée de douze heures, la surface labourée était de 2 hectares, on voit que le prix du labourage par hectare serait de 25 fr. 65, soit inférieur de plus de moitié à ce que coûte le même travail fait par des bœufs, celui-ci étant estimé dans le pays à 62 fr. 50 l'hectare.

Le carbure de calcium dans l'industrie. — Sous le nom de « carbid », une société vient de se constituer à Berlin, pour l'application du carbure de calcium (nouveau produit du four électrique) à l'éclairage. Dans cette société sont intéressés, outre plusieurs banques, la Société générale d'électricité de Berlin et la maison Siemens et Halske.

Comme on le voit, voilà l'acétylène électrochimique en voie de susciter une nouvelle concurrence à la lampe électrique.

Communication téléphonique entre l'Angleterre et la Belgique. — L'Administration supérieure télégraphique belge a fait récemment des essais de communication téléphonique sous-marine entre les côtes belge et anglaise à la station de Furnes (Flandres), située à 15 kilomètres de distance de la côte. On s'est servi, dans ces expériences, des appareils les plus récents de même que d'un microphone Carbonnelle. Les conducteurs employés étaient deux fils du câble télégraphique reliant Douvres à la Belgique. Le résultat dépassa toutes les prévisions; mais une conversation essayée ensuite entre Bruxelles et Douvres se transmit d'une façon presque inintelligible. En améliorant les lignes terrestres, on espère pouvoir réaliser, sans poser de câble téléphonique spécial, une communication téléphonique directe entre Bruxelles et Londres.

L'électricité aux mines d'or. — MM. Johnson et Phillips, de Londres, établissent en ce moment au mines d'or de Sheba, près de Barberton (Afrique du Sud) une installation intéressante de transmission de force motrice par l'électricité. Jusqu'ici le minerai était transporté aux bocards à l'aide d'un telphérage, mais le développement des mines a été si rapide que les directeurs de la Compagnie des mines d'or de Sheba résolurent d'établir de nouveaux bocards non près des premiers, mais sur la mine même, et de leur transmettre la force motrice par l'électricité. La transmission, par l'intermédiaire d'un câble souterrain,

se fait sur une distance de 8 kilomètres. La puissance hydraulique disponible est évaluée à 600 chevaux, et deux turbines de 300 chevaux ont été installées pour actionner les génératrices.

Emploi des accumulateurs, aux Etats-Unis. — Le mouvement en faveur des accumulateurs fait de grands progrès en Amérique surtout depuis le congrès de la « *National Electrical Light Association* » tenu à Washington. Le rapport du comité chargé de l'étude de la consommation du combustible dans les stations centrales vient d'être confirmé par une étude consciencieuse de M. Merrill (*Electrical World* du 23 février). Cette étude ne porte plus cette fois sur des considérations théoriques mais sur des chiffres relevés dans la pratique pour des puissances de machines à vapeur comme suit :

Simples sans condensation. . .	100 à 200 chevaux. 250 à 500 —
Compound sans condensation.	300 à 500 — 500 à 800 —
Compound sans condensation.	300 à 500 — 500 à 800 — et 2.000 —

La quantité de vapeur consommée varie dans ces trois cas depuis 17 kilogs jusqu'à 6 kg. 800 par cheval et par heure.

M. Merril rapportant les rendements de chaque partie de l'usine au kilowatt obtenu au tableau conclut, dans le sens bien connu, que dans les stations dépourvues de batteries d'accumulateurs, les unités doivent être proportionnées de façon à pouvoir toujours travailler en pleine charge : « *un bon directeur de station n'est pas celui qui obtient une plus* grande puissance par kilog. de charbon que son voisin, mais celui qui fait donner à la station la plus grande puissance possible pour la moindre dépense. »

La conséquence de ces idées pratiques est l'acheminement général vers l'emploi de batteries d'accumulateurs, surtout dans le cas de charges très variables, d'après la pratique européenne. Il est très curieux de voir les Américains adopter des procédés que les Européens cherchent précisément à éviter après une longue et coûteuse pratique.

Les brevets électriques aux Etats-Unis. — L'*Electrical World* a donné dernièrement un résumé des brevets relatifs à l'électricité pris aux Etats-Unis en 1894. Indépendamment de leur nombre absolu respectable de 1.600 environ, leur proportion relative sur la totalité des brevets délivrés dans l'année par le « Patent Office » ne manque pas d'intérêt ; elle s'élève à 8 p. 100 de cet ensemble. Quant à leur répartition entre les différentes branches de l'industrie électrique, répartition qui est caractéristique du mouvement intellectuel et commercial à l'ordre du jour, elle résulte de la classification suivante que nous empruntons à notre confrère :

TRACTION ÉLECTRIQUE

Systèmes de chemins de fer ou de tramways et conducteurs y afférents.	103	233
Trolleys et applications aux voitures. .	113	
Locomotives électriques.	18	
Dynamos et éléments de leur construction. .		110
Moteurs et éléments de leur construction. . .		76
Régulateurs et appareils de contrôle de courant.		139
Transformateurs.		23
Coupe-circuits et interrupteurs		33
Lampes à arc.		82
Lampes à incandescence.		33
Systèmes de distribution électrique.		45
Tableaux.		21
Commutateurs.		65
Fils, câbles et canalisations.		44
Isolateurs et isolements.		52
Appareils de mesures et indicateurs.		66
Téléphones.		97
Télégraphie.		43
Systèmes de signaux.		110
Sonneries, annonciateurs, éclairage au gaz, horloges, etc.		103
Piles primaires.	39	73
— secondaires.	34	
Appareils calorifiques et applications		25
Soudure électrique.		7
Appareils de mines		12
Appareils médicaux.		11
Grues, monte-charges.		23
Divers.		80
		1615

La traction électrique est, comme on le voit, l'application qui sollicite le plus l'attention des inventeurs. Parmi les brevets auxquels elle a donné lieu, 3 p. 100 seulement ont été accordés à des étrangers, contre 9 p. 100 accordés l'année précédente.

Les régulateurs de courant et les disposifs de contrôle, ainsi que les systèmes de signaux, viennent ensuite dans l'ordre d'intérêt qu'ils semblent présenter. 6 p. 100 seulement de l'ensemble des brevets y relatifs ont été accordés à des étrangers.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

2ᵉ Année. Samedi 30 Mars 1895. N° 13.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

NOUVELLE CONTRIBUTION
A L'ÉTUDE
DES COURANTS TELLURIQUES
D'APRÈS LES OBSERVATIONS FAITES A L'OBSERVATOIRE DU VÉSUVE AVEC DES FILS INCLINÉS SUR L'HORIZON ET DISPOSÉS DANS DES AZIMUTS VARIÉS

Lorsque l'attention des physiciens se trouva appelée sur les courants telluriques, découverts par Macrini, de nombreux essais furent faits, en Italie comme ailleurs, pour établir les lois ou les origines du mystérieux phénomène. Le plus grand nombre des observateurs employèrent des fils disposés suivant deux directions (horizontalement ou à peu près) : aucun d'eux, que je sache, ne se préoccupa du nivellement pour savoir si l'une des extrémités des conducteurs était ou n'était pas plus élevée que l'autre. Les fils étaient orientés : l'un, suivant le méridien magnétique ou le méridien terrestre, l'autre selon une direction perpendiculaire à la première. Le courant qui traversait le premier conducteur s'appela *courant méridien*, l'autre *courant équatorial*. On trouva généralement que le courant méridien allait du nord au sud et l'équatorial, de l'est à l'ouest, d'où Battelli déduisit mathématiquement que la direction réelle du courant tellurique est du nord-est au sud-ouest.

Je rappelle, pour l'historique de la question, qu'en 1852, occupé à poursuivre mes recherches sur l'électricité météorique à la station du Vésuve et, dans le but de voir comment l'électricité atmosphérique se manifestait en temps de pluie sous forme de courant, j'employai un fil de cuivre de 400 mètres de long disposé comme il suit. Mis à la terre sur le penchant de la colline qui porte l'observatoire, il arrivait, toujours isolé, jusqu'à l'entrée d'un galvanomètre à fil long et fin (placé dans une salle spéciale), dont la borne de sortie était reliée à un conducteur isolé, armé d'une aigrette de pointes, qui s'élevait au-dessus du plafond de la salle d'essais.

Lorsqu'il ne pleuvait pas sur le lieu des observations ou à une certaine distance, le galvanomètre n'indiquait aucun courant; mais le cas s'étant produit où le conducteur se trouvait en communication avec la terrasse mouillée, je vis le galvanomètre accuser un courant dirigé de bas en haut, c'est-à-dire allant du sol à la terrasse.

Répétant l'expérience avec des modifications, je conclus à des effets de courants telluriques, en raison surtout de ce que le fil venait de la partie septentrionale de l'édifice ; mais ayant mis le fil à la terre, au sud, je trouvai encore le courant ascendant et de même intensité. Je fis varier son azimut : le courant continua à marcher de bas en haut. J'aurais voulu posséder une ligne de plusieurs kilo-

mètres descendant de l'observatoire jusqu'à la base de la montagne pour y prendre terre mais faute de fonds, je dus y renoncer. A la suite d'événements politiques, le célèbre physicien Matteucci, mon ami, étant devenu ministre de l'Instruction publique, je lui fis connaître les résultats obtenus et le pressai de me concéder quelques kilomètres de fil télégraphique pour poursuivre mes recherches: j'en obtins de courtoises promesses pour une époque prochaine. Le ministère étant tombé, Matteucci résolut d'étudier par lui-même les courants telluriques, en Toscane et à Saint-Maurice, en recherchant toujours le courant méridien et le courant équatorial. Une seule fois, ayant incliné son conducteur, il trouva que le courant allait de bas en haut « comme si, dit-il, on avait un couple voltaïque avec le zinc en haut et le cuivre en bas »; mais, pour je ne sais quelle cause, il ne continua pas ses recherches avec des conducteurs inclinés. A son tour, le professeur Ragona, directeur de l'observatoire de Modène, put observer ce que j'avais constaté plusieurs années avant.

Enfin, en 1889, M. Lacava, ministre des Postes et Télégraphes, me concéda une ligne télégraphique de huit kilomètres, de Resina à l'observatoire, et grâce au concours bienveillant de son département, je pus reprendre les essais dont j'ai déjà fait connaître les premiers résultats.

Après six ans d'observations assidues, je suis parvenu à établir, « que lorsque le Vésuve est tranquille ou tout au moins dans une période d'activité minima, les courants telluriques sont dirigés de bas en haut, quel que soit l'azimut dans lequel se trouve le fil, et que ces courants augmentent d'intensité si l'activité du volcan diminue encore: ils diminuent quand cette activité s'accroît, ils arrivent à zéro quand elle atteint un certain degré, puis deviennent descendants, c'est-à-dire allant de haut en bas, lorsque l'énergie éruptive du cratère se montre plus grande; ils augmentent alors comme elle et diminuent comme elle, jusqu'à retourner au zéro puis à redevenir ascendants pendant la période décroissante de l'activité volcanique. »

Il reste donc à démontrer par les faits, que:

1° Dans les fils inclinés sur l'horizon, en dehors des actions volcaniques et peut-être aussi séismiques, les courants sont dirigés de bas en haut, quel que soit l'azimut dans lequel sont placés les conducteurs.

2° Dans des fils voisins d'un volcan actif, les courants diminuent, deviennent nuls, et changent de sens quand l'activité volcanique augmente, et devenus descendants suivent, en variant d'intensité, les phases d'accroissement ou de décroissance d'activité éruptive du volcan voisin.

Le premier fait, découvert en 1852, le Vésuve étant au repos complet, est confirmé par une observation ultérieure de Matteucci, ensuite par le professeur Ragona, par les observations faites en Amérique au mont [1] Pik's-Peak dans le Colorado, haut de 4.730 m., dont j'ai parlé dans un précédent mémoire [2], par celles de Brander (citées par le professeur Bachmetjew [3]) et enfin par celles qui ont été

(1) D'après certains voyageurs, le grand pic de Pike, dans le Colorado, atteint jusqu'à 5.200 mètres. Au faite de la montagne est installée une station météorologique habitée pendant toute l'année. A 2.500 mètres au-dessous est la ville de Colorado-Springs, renommée pour son climat. La crête est reliée à la petite cité de Manitou, sise plus près du pic, par une voie ferrée. Les vents, d'une violence exceptionnelle, ont fait surnommer le pic de Pike, la *pointe des vents*. La grande différence de niveau qui sépare les points extrêmes de la ligne électrique dont M. Palmieri a parlé dans une précédente étude, rend plus net et plus appréciable l'effet de l'altitude sur le sens des courants telluriques. — N. du traducteur.

(2) Voir Étude sur les courants telluriques. *Eclairage électrique*, n° 4 du 6 octobre 1894. On y trouvera la description détaillée du rhéomètre employé par M. Palmieri.

(3) M. le professeur Bachmetjew, qui a récemment entrepris des études sur les courants telluriques en Bulgarie, s'exprime ainsi dans un mémoire publié cette année: « In den gebirgigen Gegenden fliebt Erdstoım von unten nach oben, was mit den Beobächtungen von Brander auf dem St-Gothard und von Palmieri auf den Vesuv übereinstimmt. »

poursuivies à l'observatoire du Vésuve depuis 1889, alors que le volcan était à peu près tranquille.

Ces courants ascendants ont évidemment subi, dans leurs variations, l'action de l'électricité atmosphérique, lorsqu'il tombait des pluies, particulièrement orageuses, sur le lieu des observations et à une certaine distance : mais par des journées sereines, ils ont éprouvé de notables diminutions alors que les appareils séismiques et les observations directes démontraient un accroissement d'activité du volcan ; ils sont même tombés à zéro à certaines heures et ensuite ils se sont inversés et sont devenus descendants, avec des accroissements ou des abaissements correspondant au degré d'activité du Vésuve.

Avant d'exposer les faits qui établissent cette relation entre les inversions du courant et le travail volcanique (et peut-être même avec les tremblements de terre éloignés), je crois devoir montrer par deux figures schématiques de quelle façon sont disposées les expériences à l'observatoire du Vésuve, depuis 1889.

De la salle d'expériences A (fig. 1), à 637 m. d'altitude, partent deux fils B et C. Le premier, long de 8 kilomètres, va au S.O. (Resina) où il prend terre, dans un puits d'eau vive par une lame de cuivre de 0,70 m. de côté. Le second, plus court de quelques centaines de mètres, va prendre terre sur la pente d'une vallée dite *Fosso della Vetrana*. Une lame de cuivre semblable à l'autre, est enfouie à 3 ou 4 mètres dans le sol composé de terre végétale et de débris volcaniques appartenant aux temps préhistoriques, l'observatoire se trouvant placé sur une saillie du mont Somma. Les habitants appellent, avec juste raison, ces terrains, *les terres vieilles*, c'est-à-dire n'appartenant pas à la période historique du Vésuve, qui ne commence qu'en l'an 79 de l'ère moderne. Les deux fils précités se trouvent dans le même azimut, c'est-à-dire N.O, S.O. De la chambre d'essais part enfin un troisième fil D qui, presque à sa sortie, rencontre la couverture de plomb d'une salle voisine : sur cette couverture passe, en contact immédiat avec elle, le conducteur de décharge du paratonnerre auquel est soudé le fil sortant de la salle. De cet agencement, il résulte que ce fil est en communication avec l'édifice ; c'est le *fil de terre locale*. A l'intérieur de la chambre est placé un galvanomètre G ; en sorte que l'on peut manipuler les extrémités des trois fils, que j'appellerai *x*, *y* et *z*, de façon à faire diverses combinaisons. On pourra, par exemple, attacher les deux fils au galvanomètre et former ainsi un conducteur unique dans lequel l'instrument sera intercalé. On pourra ainsi réunir de même *x* et *z*, pour

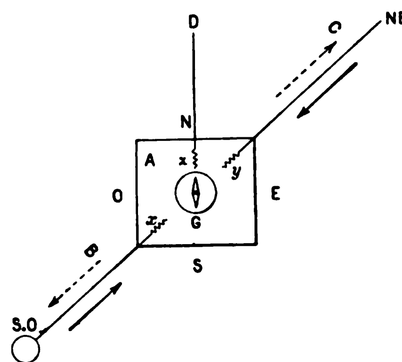


Fig. 1.

étudier le courant du fil B, ou bien *y* et *z* pour observer le courant de C. La figure 1 donne le plan de l'installation ; la figure 2 en représente la coupe suivant l'azimut S.O.-N.E.

En faisant communiquer les extrémités *x* du fil B et *z* du fil D avec le galvanomètre, on trouvera que le courant est ascendant si l'on réunit *y* et *z* avec l'appareil. Mais si l'on intercale le galvanomètre entre les deux fils B et C, c'est-à-dire en réunissant les bouts libres *x* et *y* avec l'instrument, on aura un courant très faible qui est la différence des deux courants ascendants. Lorsque ensuite, le courant s'inverse pour devenir descendant, il l'est également dans le fil B et dans le fil C. En général, le courant de B est toujours plus intense que celui du fil plus court C, mais il a été constaté en 1894, lors du récent tremblement de terre de la Calabre, que le courant du fil le plus

court a dépassé en intensité celui du conducteur le plus long; et maintenant (fin février 1895) que le tremblement de terre des Calabres paraît terminé, le courant du fil le plus court, bien qu'ayant perdu la moitié de son intensité l'emporte encore de près du double sur celui du conducteur le plus long. Il convient de noter que de petites secousses ont été, dans ces derniers temps, ressenties à Naples et dans les pays avoisinants, Caserte, Bénévent, etc., ainsi que dans l'Italie supérieure.

Les appareils employés pour ces recherches sont : un galvanomètre astatique à double fil

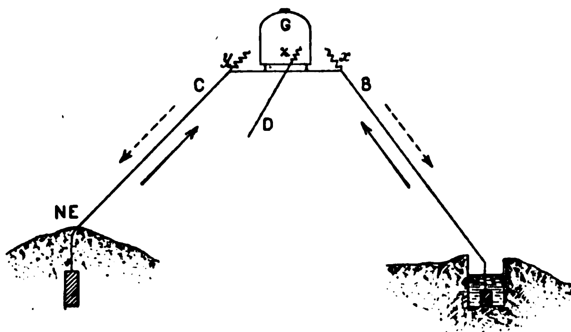


Fig. 2.

et à double isolement, un rhéomètre dont j'ai donné la description dans deux mémoires antérieurs, et un galvanomètre apériodique de d'Arsonval.

Avant d'exposer les résultats qui sont le principal objet de ce mémoire, je crois nécessaire de dire avant tout que, dans la période de repos du Vésuve, les appareils seismiques de l'observatoire sont ordinairement tranquilles, et que, lorsque le volcan est en activité, ces appareils ne sont jamais tranquilles et que leurs mouvements sont proportionnels aux efforts éruptifs. De sorte que, par le degré d'activité de ces instruments, on peut apprécier la valeur du travail volcanique, même sans observations directes et locales.

Si, en temps de calme, il intervient des mouvements séismiques persistants, continus et croissants, on peut prédire sûrement que le Vésuve va passer du repos à la période éruptive ; mais si ces mouvements se reproduisent à de courts intervalles, plus de trois fois en vingt-quatre heures, avec un repos intermédiaire parfait, c'est un signe certain de prochains tremblements de terre à distance ou d'une éruption de l'Etna et même de Santorin.

J'ajouterai enfin que le fil long prenait tout d'abord terre au puits de Resina dans lequel il plongeait, mais qu'ayant obtenu un autre kilomètre de fil, j'en profitai pour prolonger encore la ligne dont je mis l'extrémité à la terre dans le bois de l'Ecole supérieure d'agriculture de Portici en un point très favorable. Le courant alors ascendant, gagna quelque peu en intensité. En août 1894, je le vis s'affaiblir rapidement, tomber à zéro, puis devenir descendant. Comme on avait à ce moment posé le téléphone à l'Ecole de Portici, je crus à quelque dérangement et repris la terre au puits de Resina ; mais le courant resta descendant, et le même fait se produisit aussi sur le conducteur plus court qui n'avait subi aucune modification. Le Vésuve eut à ce moment cette période éruptive plus forte dont j'ai parlé.

Arrivant maintenant aux faits qui prouvent l'origine des inversions des courants telluriques, je rappellerai que depuis le 18 décembre 1875, le Vésuve est en activité strombolienne, plus ou moins forte, mais qui n'a jamais cessé jusqu'à présent. En 1889, quand j'ai résumé mes études sur les courants telluriques, d'après les procédés précédemment indiqués, le Vésuve était à son minimum d'activité et les courants furent ascendants jusqu'au 7 juin, époque à laquelle, au moment de la nouvelle lune avec éclipse partielle de soleil, une fente radiale s'ouvrit dans le cône, du côté nord. Cette fente se prolongea jusqu'à l'*Atrio del Cavallo*, et émit pendant quelque temps une quantité modérée de lave qui ne dépassa pas les limites de l'Atrio.

A cette époque, le galvanomètre astatique était seul employé et j'eus l'occasion d'observer un singulier conflit entre les courants ascendants et les courants descendants, ce dont j'eus soin d'aviser l'Académie. A ce mo-

ment je vis que l'aiguille intérieure du galvanomètre se désaimantait. J'en conclus qu'il était nécessaire de recourir à un autre instrument et je m'occupai de faire promptement construire mon rhéomètre dont je me suis servi sans aucun inconvénient, et un galvanomètre apériodique de d'Arsonval, moins sensible que le rhéomètre et susceptible d'être mis hors d'usage par fusion du fil ténu qui soutient le cadre mobile, en cas de décharges atmosphériques lorsque tombent des pluies d'orage.

Les instruments une fois installés, la période éruptive déclina et les courants redevinrent ascendants.

En août 1893, une nouvelle phase éruptive plus intense se manifesta à l'Atrio del Cavallo où surgirent des cônes adventifs qui lançaient des projectiles enflammés : les courants telluriques ascendants, après une rapide décroissance, passèrent par zéro et devinrent descendants, et leur intensité correspondait exactement aux variations de l'éruption.

Notons qu'à ce moment il survenait un violent tremblement de terre sur le Gargano, avec de graves dégâts à Mattinata, Montesarraceno, etc.

Pendant la période de décroissance de cette éruption bien accentuée, les courants descendants allèrent en diminuant jusqu'à disparaître pendant plusieurs heures, sans inversion, après quoi ils reprirent la direction descendante dans les moments de plus grande activité volcanique, ce qui arrivait facilement aux époques des syzygies.

En février 1894, les laves cessèrent de sortir de l'Atrio del Cavallo et les courants telluriques descendants tombèrent à zéro, puis redevinrent ascendants.

En mars, le cratère réagit fortement : les courants redevinrent descendants et le 22 mars un violent tremblement de terre ébranlait le Japon.

En avril, les courants continuaient à être descendants : il y eut un fort tremblement de terre en Grèce.

En mai, un séisme sensible agita la Basilicate.

Au mois de juin, très fort tremblement à Constantinople.

En août fort tremblement de terre dans la province de Catane et ensuite en Grèce.

En septembre, fortes secousses en Romagne sans parler de mouvements plus faibles; les courants continuèrent à être descendants, leur activité correspondant à celle du cratère du Vésuve.

Enfin, en novembre, les tremblements de terre furent désastreux, d'abord dans la province de Messine, ensuite dans celle de Reggio de Calabre. Grâce aux nombreux télégrammes que je reçus à cette occasion, j'ai pu vérifier que les courants telluriques descendants augmentaient d'intensité quand le sol calabrais s'agitait plus fortement, toujours avec une certaine avance et exactement aux époques des syzygies; dans ces occasions les appareils séismiques eux aussi se trouvaient plus agités.

De tout ceci, on peut déduire les conclusions ci-après :

1° Avec des fils inclinés sur l'horizon, les courants telluriques vont de bas en haut, quel que soit l'azimut des fils : ceci suppose que les expériences sont faites en dehors des régions volcaniques, ou bien même dans ces dernières, mais lorsque le volcan est au repos complet ou presque complet.

2° Si l'on fait ces observations dans le voisinage d'un volcan actif, on voit que l'intensité de ces courants diminue ou augmente selon que l'activité éruptive croît ou s'abaisse : leurs variations dépendent donc uniquement de celles du travail volcanique qui, arrivé à un certain degré, ramène à zéro les courants ascendants et fait apparaître les courants descendants dont les variations d'intensité marchent du même pas, pour ainsi dire, que les efforts éruptifs et correspondent à une augmentation d'activité dans les appareils séismiques.

3° Si l'on veut faire des études sur les courants telluriques, en dehors des actions volcaniques, il faut établir des fils horizontaux qui soient parfaitement de niveau et des fils in-

clinés sur l'horizon là où l'on pourra profiter de quelque colline ou de quelque élévation de terrain, pour pouvoir parvenir à quelque conclusion générale. En cas de tremblement de terre local ou peu éloigné, il importe de remarquer s'il survient des changements dans la direction et l'intensité des courants, et de quelle nature sont ces changements, car on a pu voir, lors des récents tremblements des Calabres, que les courants telluriques, à l'observatoire du Vésuve, étaient devenus descendants et qu'ils avaient présenté des variations correspondant aux agitations du sol des pays frappés par le séisme. On a noté constamment qu'à l'époque des syzygies, il y avait accroissement d'intensité de ces courants et que les appareils séismiques donnaient des signes de plus grande agitation.

L. PALMIERI.

REMARQUES

POUR LA DÉTERMINATION

DU

RÉGIME DES DYNAMOS SHUNT

D'APRÈS LES CARACTÉRISTIQUES

Une machine donnée étant construite, on a souvent à envisager, dans la pratique, des modifications dans le régime qui, sans nécessiter de retouches au bobinage, ne peuvent cependant, *a priori*, être déterminées exactement.

Ainsi par exemple, soit une dynamo shunt à courant continu donnant I ampères sous *e* volts aux bornes à la vitesse V ; à quelle vitesse V' devra-t-on faire tourner cette dynamo pour obtenir *e'* volts aux bornes?

La proportionnalité entre les forces électromotrices totales et les vitesses n'existe plus, l'augmentation de vitesse amenant, outre l'augmentation de force électromotrice, une augmentation de l'excitation, et par suite, du champ (à moins que la carcasse ne soit déjà très saturée, ce qui n'est généralement pas le cas d'une construction normale et économique). La force électromotrice et l'excitation croîtront donc suivant la courbe d'induction de la dynamo jusqu'à ce que l'équilibre soit établi.

C'est ce point d'équilibre qui peut être déterminé très simplement et rapidement en connaissant les caractéristiques en excitation séparée de la machine en question.

Supposons qu'on connaisse ces caractéristiques en fonction de l'excitation à circuit ouvert et avec des débits constants I, I' (voir la figure) ; soient A, B, C les courbes correspondantes.

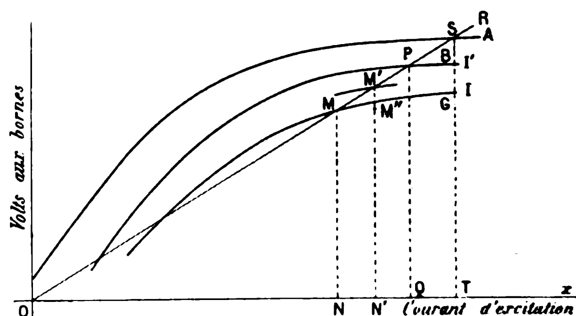


Fig. 1.

pondantes. Les intensités d'excitation sont portées en abscisses, et les différences de potentiel aux bornes en ordonnées.

Ceci posé, menons OR tel que

$$\text{tg ROM} = \frac{e}{i} = r_d$$

e étant la différence de potentiel aux bornes des inducteurs ;

i, le courant d'excitation correspondant ;

r_d, la résistance des inducteurs.

Soit aussi

r_A, la résistance de l'induit

Les ordonnées de OR représentent donc les différences de potentiel à appliquer aux bornes des inducteurs pour les valeurs d'excitation correspondantes aux abscisses ; dans le cas présent d'une shunt dynamo, OR coupera les

différentes caractéristiques en des points pour lesquels il y aura équilibre entre les différences de potentiel aux bornes de l'induit et les différences de potentiel à appliquer aux inducteurs pour obtenir l'excitation convenable à la production de la f. é. m. dans l'induit.

Dans le cas de la figure, la dynamo donnera en shunt :

au débit nul,	la d. de p.	aux bornes	ST (courbe A)
»	I'	»	PQ (courbe B)
»	I	»	MN (courbe C)

La caractéristique en shunt pourrait donc être immédiatement tracée.

Il est à remarquer en passant que OR coupe les différentes caractéristiques en excitation séparée en deux points ; les points d'intersection les plus bas correspondent à la partie plongeante de la caractéristique. La dynamo sera, par conséquent, d'autant plus loin de sa limite de charge, c'est-à-dire du début du désamorçage que la flèche de l'arc intercepté par OR sur la courbe de débit I aura une plus grande valeur.

Voyons maintenant quelle vitesse V' il faudra pour obtenir e' volts avec le débit I.

Il faudra s'assurer, au préalable, que les inducteurs pourront supporter la nouvelle valeur du courant d'excitation, soit

$$i' = \frac{e'}{e}\, i = \frac{e'}{r_d}.$$

Lorsque nous aurons e' aux bornes, la f. é. m. totale sera, pour la vitesse V' cherchée,

$$E' = e' + r\left(I + \frac{e'}{r_d}\right). \qquad (1)$$

Or, pour $e' = M'\,N'$ aux bornes des inducteurs, la différence de potentiel aux bornes de l'induit, d'après la figure 1, est, pour le débit I, représentée, par $M''\,N'$, et la force électromotrice totale est

$$E'' = M''N' + r_A\, I; \qquad (2)$$

E' et E'' correspondant à de mêmes valeurs du champ, sont proportionnelles aux vitesses V' et V.

Nous aurons donc

$$r' = r\,\frac{e' + r_A\left(I + \dfrac{e'}{r_a}\right)}{M''N' + r_A I},$$

valeur facile à calculer d'après la figure et les constantes de la dynamo. Pour l'exactitude absolue de ce calcul, il faut admettre que le courant d'excitation est faible par rapport à I ; s'il en était autrement, la valeur de $M''\,N'$ devrait être relevée sur la caractéristique en charge au débit $\left(I + \dfrac{e''}{r_d}\right)$ et cette valeur portée dans l'équation (2) ainsi que la valeur de I modifiée. Dans la plupart des cas, l'expression ci-dessus est d'une approximation plus que suffisante.

Si la dynamo est enroulée en compound, la même marche est applicable pour tenir compte du fonctionnement du shunt, mais il faut ajouter à l'excitation due à la dérivation, les ampères-tours en série ; la solution, tout aussi simple, est seulement un peu plus longue.

E. J. B.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE (1)

CHAPITRE VII

SUR LES ONDES ÉMISES PAR LES RÉSONNATEURS EN ACTIVITÉ

43. *Ondes secondaires engendrées par les résonnateurs.* — En soumettant plusieurs résonnateurs peu éloignés les uns des autres à l'action d'un oscillateur, j'ai observé certains phénomènes qui révèlent une action réciproque entre les résonnateurs eux-mêmes. Dans certaines circonstances, un résonnateur

(1) *L'Éclairage électrique* du 23 mars, p. 541.

donne des étincelles plus vives quand les autres résonnateurs sont rapprochés que quand ils sont éloignés, tandis que, dans d'autres cas, on constate un effet opposé.

Pour abréger, je commencerai par donner l'explication générale de ces phénomènes; je l'appliquerai ensuite aux différents cas pour rendre compte des expériences particulières.

L'explication se présente spontanément à l'esprit lorsqu'on observe attentivement les phénomènes; elle est très simple. Il faut admettre seulement que, quand un résonnateur est excité par des ondes émises par un oscillateur, il se comporte lui-même comme un oscillateur, c'est-à-dire qu'il produit des ondes, que j'appellerai *ondes secondaires*, lesquelles se propagent alentour et peuvent exciter d'autres résonnateurs. Puisque, en outre, ces derniers seront, en général, exposés à l'action directe de l'oscillateur principal, il se produira des phénomènes d'interférence qui permettent d'expliquer les phénomènes observés.

Pour appliquer cette explication générale aux différents cas, il faut encore observer que les ondes émises par un résonnateur sont nécessairement en opposition de phase avec les ondes qui excitent le résonnateur. En effet, les charges électriques de signe opposé qui, à un instant quelconque, existent dans les deux moitiés du résonnateur, produisent auprès du résonnateur une force électrique de sens opposé à celle qui est cause de ces charges.

Il en résulte que, pour évaluer la différence de phase qui existe entre les ondes qui arrivent à un résonnateur R et provenant directement de l'oscillateur O, et celles qui arrivent en R, mais qui sont dues à un résonnateur R', il faut tenir compte, non seulement de la différence entre les deux trajets parcourus, OR et $OR' \pm R'R$, mais encore de la différence de phase π, correspondant à une différence de marche $\frac{\lambda}{2}$ indiquée plus haut.

Ceci posé, voici les expériences qui mettent en évidence les ondes secondaires d'un résonnateur.

44. *Action d'un résonnateur sur un second d'égale période d'oscillation.* — Les appareils I doivent être préférés pour ces expériences, car ils permettent de voir les étincelles à distance sans qu'il faille recourir à l'aide d'un oculaire.

En général, quand deux résonnateurs sont exposés à l'action de l'oscillateur, chacun d'eux agit sur son voisin; il y a cependant deux cas dans lesquels l'action réciproque des résonnateurs obéit à une loi simple; ce sont les suivants :

a. Résonnateurs placés sur une même surface d'onde. — Soient (fig. 22), O l'oscillateur, R et R' les deux résonnateurs placés dans un même plan, perpendiculaire à la direction des radiations qui partent du miroir de l'oscillateur et parallèle à l'oscillateur lui-même; nous supposerons que l'oscillateur et les résonnateurs sont verticaux. Si l'on observe les étincelles d'un des résonnateurs, R, par exemple, tandis qu'on fait varier la distance RR' entre les deux résonnateurs, on constate que les étincelles en R sont maxima pour certaines valeurs de RR' et minima pour d'autres valeurs. Si la distance RR' est suffisamment petite, le résonnateur R reste obscur, à moins que sa sensibilité ne soit pas beaucoup plus grande que celle de R': quand $RR' = \frac{\lambda}{2}$, les étincelles en R sont maxima; lorsqu'on augmente encore RR', les étincelles diminuent et se réduisent à un minimum pour

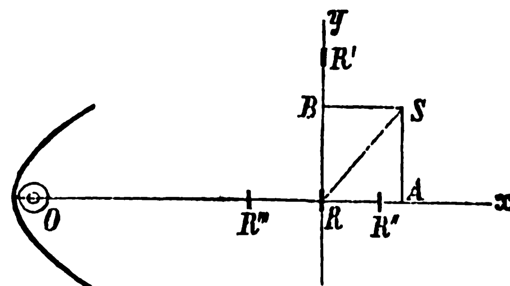


Fig. 22. — Réaction de deux résonnateurs placés sur une même surface d'onde.

$RR' = \lambda$; elles croissent ensuite pour atteindre un maximum beaucoup moins marqué que le précédent lorsque $RR' = \frac{3}{2}\lambda$.

Ces effets s'observent également sur les deux résonnateurs R et R' s'ils sont tous deux de même sensibilité ; dans le cas contraire, les variations des étincelles ne sont manifestes que dans le résonnateur le moins sensible; mais dans ce second cas, elles s'observent plus facilement que dans le premier. Il est donc préférable de faire l'expérience avec un résonnateur nouveau, partant très sensible, et un autre qui, ayant déjà servi pendant quelque temps, est moins sensible ; on observe sur ce dernier les effets produits par le premier.

L'explication générale du paragraphe précédent rend facilement compte des phénomènes décrits. Le résonnateur R reçoit à la fois et les ondes émanées de l'oscillateur O et les ondes secondaires émises par R'. Celles-ci parviennent en R avec une différence de phase qui se compose de la différence de phase π due à ce que ce sont des ondes secondaires et de la différence de phase employée à parcourir la distance RR'. Si $RR' = 0, \lambda, \ldots$, les ondes secondaires arrivent en R avec une phase opposée à celle des ondes directes, avec lesquelles, par conséquent, elles interfèrent. Si, au contraire, $RR' = \frac{\lambda}{2}, \frac{3}{2}\lambda, \ldots$, les ondes secondaires ont, en R, une phase égale à celle des ondes directes, et s'ajoutent à celles-ci.

b. Résonnateurs placés dans un même rayon. — Supposons, en second lieu, que les deux résonnateurs R et R'' soient placés sur une même droite conduite dans la direction où se propagent les radiations, et qu'on observe l'effet produit sur le résonnateur R par le résonnateur R'' qui devra, de préférence, être plus sensible que le premier.

Dans ce cas aussi, les étincelles en R augmentent lorsqu'on fait croître la distance RR'' à partir d'une faible valeur; mais elles atteignent un maximum non plus lorsque la distance entre les deux résonnateurs est égale à une demi-longueur d'onde, mais quand $RR'' = \frac{\lambda}{4}$. Quand $RR'' = \frac{\lambda}{2}$, les étincelles sont minima; elles passent par un nouveau maximum pour la valeur $RR'' = 3\frac{\lambda}{4}$. En résumé, dans ce second cas, les maxima et les minima s'obtiennent en augmentant successivement d'un quart d'onde la distance entre les deux résonnateurs, tandis que, dans le cas précédent, leur production exigeait un déplacement d'une demi-longueur d'onde. La raison de cette différence réside en ce que les ondes secondaires émanées de R'', outre qu'elles sont en retard sur les ondes qui parviennent directement en R par suite du temps employé à parcourir l'intervalle de R'' à R, sont encore en retard parce qu'elles sont générées avec un autre retard dû au plus grand trajet des ondes directes qui arrivent en R''. La différence de phase entre les ondes directes et les ondes secondaires en R se compose donc de la différence de phase π et de celle qui est due aux temps employés à parcourir deux fois la distance RR''. Si $RR'' = \frac{\lambda}{4}$ les phases en R sont égales; si $RR'' = \frac{\lambda}{2}$, les phases sont opposées, et ainsi de suite.

Tout ceci se rapporte à l'action du résonnateur R'' sur le résonnateur R.

Considérons l'action opposée, c'est-à-dire celle du résonnateur le plus voisin de l'oscillateur sur le résonnateur le plus éloigné, par exemple à l'action de R''' sur R. Dans ce cas, on observe que les étincelles en R diminuent d'intensité ou même disparaissent totalement quelle que soit la distance RR'''; ce fait s'explique facilement, en réfléchissant qu'entre les ondes directes qui paraissent en R et les ondes secondaires, engendrées par R''' et qui parviennent en R, il existe toujours seulement la différence π. Il convient aussi, pour cette expérience, que R soit moins sensible que R'''.

On peut trouver *a priori* quel est le lieu des points où doit être placé un résonnateur

S pour que les ondes secondaires qui en émanent, se composant avec les ondes directes, rendent maxima ou minima les oscillations d'un oscillateur R. En effet, en rapportant la position de ce résonnateur S aux axes Rx et Ry on doit avoir en R un effet maximum ou minimum, suivant que OS + SR est égal à un nombre impair ou pair de fois $\frac{\lambda}{2}$. On a donc, k étant un nombre entier :

$$x + \sqrt{x^2 + y^2} = k\frac{\lambda}{2}.$$

Cette équation représente toutes les para-

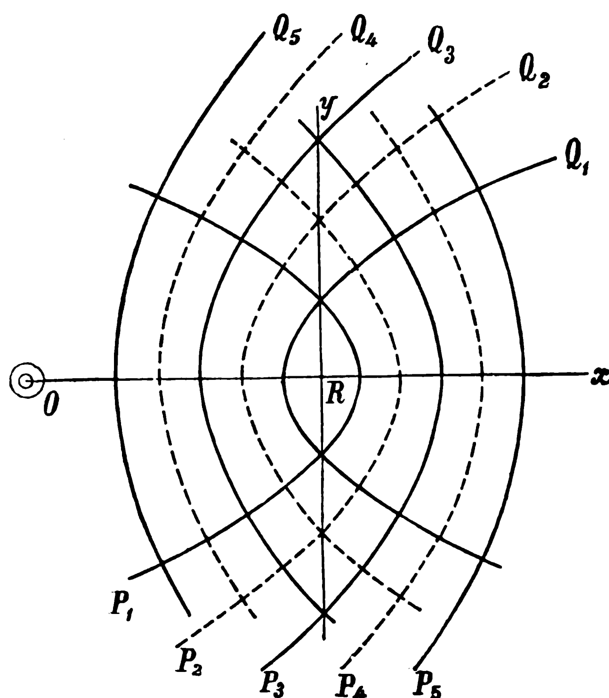


Fig. 23. — Lieux des points où un résonnateur renforce ou affaiblit les ondes directes reçues dans un résonnateur R.

boles de foyer R qui coupent Ry en des points qui sont distants de $k\frac{\lambda}{2}$ du point R, et qui ont leurs sommets sur Rx à une distance $k\frac{\lambda}{4}$ de R. Pour les paraboles qui correspondent à $k = 1$, $k = 3$, $k = 5$, etc., l'effet d'un résonnateur qui serait placé au-dessus de celui-ci est d'augmenter les étincelles en R; pour ceux, au contraire, qui correspondent à $k = 2$, $k = 4$, $k = 6$, etc., l'effet en R est une diminution des étincelles.

D'une façon analogue, si l'on cherche le lieu des points où doit être placé un résonnateur S afin que les ondes secondaire émanées du résonnateur R, composées avec les ondes directes, rendent maxima ou minima les étincelles en S, on obtient l'équation

$$\text{RS} - \text{OS} = k\frac{\lambda}{2}$$

ou

$$\sqrt{x^2 + y^2} - x = k\frac{\lambda}{2},$$

qui représente toutes les paraboles symétriques aux précédentes relativement à Ry. Selon que k sera un nombre entier pair ou impair, la parabole correspondante déterminera le lieu des maxima ou des minima.

Dans la figure 23 on a tracé en partie les

paraboles des deux groupes. Les paraboles P_1, P_3, P_5, dessinées en traits pleins, indiquent les points où doit être placé un résonnateur avec une longueur d'ondes secondaires convenables, pour renforcer les oscillations en R. Les paraboles P_2, P_4, tracées en pointillé, indiquent les points où doit être placé un résonnateur pour éteindre les oscillations en R. De même les paraboles Q_1, Q_3, Q_5, et les paraboles Q_2, Q_4, indiquent respectivement les points où les ondes d'un résonnateur sont renforcées ou affaiblies par les ondes secondaires de R.

En examinant cette figure, on voit immédiatement quelles sont les positions qu'il faut donner au résonnateur S pour qu'il se comporte d'une façon donnée par rapport au résonnateur R. Si, par exemple, S est au point de rencontre de deux lignes en trait plein, S et R se renforcent mutuellement, tandis que si S est au point de rencontre de deux traits pointillés, R et S tendent mutuellement à affaiblir leurs étincelles.

Si nous imaginons qu'un certain nombre de résonnateurs soient placés le long d'une des paraboles P_1, P_3, sur la première, par exemple, leurs actions respectives sur R seront concordantes. En réalité, cela revient à constituer une sorte de miroir parabolique discontinu, dont l'effet en R sera semblable à celui d'un miroir continu d'égale forme. Il est probable que l'effet en R dépend du nombre des résonnateurs distribués sur P_1, puisque si, d'un côté, l'action en R des ondes secondaires doit croître avec le nombre des résonnateurs qui les engendrent, d'un autre côté, lorsqu'on augmente le nombre de résonnateurs, ceux-ci se trouvent de plus en plus voisins et, en raison de leur influence réciproque, leurs oscillations tendent à s'affaiblir. Il y donc probablement une certaine distance entre les différents résonnateurs distribués sur P, pour laquelle l'effet en R est maximum. Cet effet maximum pourrait peut-être dépasser celui que produit un réflecteur parabolique continu.

Dans toutes les expériences décrites dans ce paragraphe, on peut substituer au résonnateur qui engendre les ondes secondaires dont l'effet s'observe dans l'autre résonnateur, un simple fil métallique de la même longueur à peu près que le résonnateur auquel il est substitué. Il se produit dans le fil des oscillations de résonnance qui engendrent des ondes secondaires, puisque ces fils se comportent exactement comme un des résonnateurs isolés, sauf que les étincelles sont absentes.

Nous verrons plus bas que le résonnateur qui engendre les ondes secondaires peut être plus long que le résonnateur sur lequel on observe les effets de ces ondes secondaires, c'est-à-dire qu'il peut correspondre à une plus grande longueur d'onde que ce dernier.

Il en résulte que les résonnateur distribués le long de la parabole P, peuvent être des simples fils, cylindres ou lames métalliques et être plus longs que le résonnateur R. On se rend compte ainsi de l'effet que donnent les inflecteurs paraboliques récemment décrits par Zehnder (1), réflecteurs qui sont en réalité constitués par des conducteurs rectilignes parallèles.

On peut effectuer d'autres expériences dans lesquelles se manifestent les ondes secondaires; mais comme il est très facile de les imaginer et de les expliquer en se basant sur les explications ci-dessus, je ne les décrirai pas.

45. *Réactions entre des résonnateurs de périodes différentes.* — Les résultats des expériences décrites dans le paragraphe précédent, ne changent pas beaucoup si les deux résonnateurs sont de longueurs différentes, et partant, correspondent à des longueurs d'onde inégales.

Supposons que le résonnateur R, sur lequel s'observent les effets des ondes secondaires soit moins long que le résonnateur ou conducteur rectiligne qui les produit. Les effets seront seulement un peu moins marqués que si les deux résonnateurs avaient même longueur, principalement si la différence de longueur est très grande.

(1) ZEHNDER. — *Wied. Ann.*, 1894, n° 5, p. 34. — *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 560.

Si, au contraire, on fait agir sur le résonnateur R un résonnateur plus court, l'effet de celui-ci est assez faible, et disparaît totalement quand la différence de longueur entre les deux résonnateurs n'est pas très petite.

Pour ces expériences, il est préférable d'employer l'oscillateur II et les résonnateurs I et II (longueurs d'onde = 20 cm. et 10,6 cm.).

L'effet d'un résonnateur I sur un résonnateur II est toujours très visible, tandis que l'action de II sur I est insensible.

Dans le cas de la réaction d'un long résonnateur sur un plus court, c'est la longueur d'onde du dernier qui règle la distance à laquelle se produisent les maxima ou les minima. Ainsi, par exemple, si R (fig. 22) est un résonnateur pour lequel $\lambda = 10,6$ cm. et R' un autre pour lequel $\lambda = 20$ cm., les étincelles en R, sont maxima lorsque $RR' = \frac{10,6}{2} = 5,3$ cm.

De même, si le plus long résonnateur est en R'', les oscillations en R sont maxima quand $RR'' = \frac{10,6}{4} = 2,65$ cm.

De ce qui précède, il résulte que les oscillations d'un résonnateur sont aussi capables d'exciter un autre résonnateur de longueur d'onde différente, mais principalement des résonnateurs de plus petite longueur d'onde. On a donc aussi ici le phénomène de la résonnance multiple, démontré déjà par de la Rive et Sarasin pour les oscillateurs; on l'expliquera facilement en adoptant une des explications proposées pour le cas où ce phénomène est produit par un oscillateur. On peut donc admettre que dans les radiations émises par un résonnateur, comme dans celles que produit un oscillateur, il existe des vibrations pendulaires de toutes longueurs d'onde (entre certaines limites), en sorte que la radiation peut se comparer à la lumière blanche; ou, au contraire, on admettra l'explication de Poincaré, suivant laquelle la radiation émise est simple ou pendulaire, mais amortie. Cette dernière explication est la plus simple et la plus naturelle, spécialement dans le cas des résonnateurs.

L'expérience dans laquelle les deux résonnateurs étant placés sur un même rayon, comme R''' et R (fig. 22), on observe l'action de R''' sur R est intéressante. Si R''' est égal à R, celui-ci est obscur; il donne des étincelles dans le cas contraire. Ces étincelles sont très faibles si R''' est plus long que R, et aussi vives que si R''' n'existait pas lorsque R''' est beaucoup plus petit que R. On obtient un résultat semblable si, au lieu d'un seul résonnateur R''', on en emploie un grand nombre tous égaux entre eux et distribués dans un plan perpendiculaire à la direction dans laquelle se propagent les ondes.

On ne peut tirer de cette expérience aucune conclusion relative à la cause à assigner au phénomène de la résonnance multiple [1], puisque si les résonnateurs R''' éteignent les oscillations de R quand ils sont égaux à R, mais non quand ils sont plus petits, cela provient seulement du fait que, dans le premier cas et non dans le second, il produit des ondes qui interfèrent en R avec les ondes directes.

46. *Action des ondes secondaires sur un résonnateur soustrait à l'action directe de l'oscillateur.* — Dans les expériences des deux précédents paragraphes, l'action des ondes secondaires émises par les résonnateurs se manifeste par leur interférence avec les ondes émanées de l'oscillateur. Il est possible d'étudier isolément l'effet des ondes secondaires en observant l'action qu'elles produisent sur un résonnateur placé de telle façon que l'oscillateur ne puisse produire sur lui aucune action.

Il suffit pour cela que ce résonnateur R (fig. 24) soit perpendiculaire en même temps à l'axe de l'oscillateur.

Soient:

O, l'oscillateur muni de son réflecteur parabolique et disposé verticalement.

---

[1] GARBASSO. *Atti della R. Acc. di Torino*, mars 1893. — *La Lumière électrique*, t. XLIV, p. 489.

Ox, la direction horizontale dans laquelle se propagent les radiations.

Oz, la direction verticale de l'oscillateur.

Le résonnateur R devra être parallèle à la droite Oy perpendiculaire au plan zOx.

Dans ces conditions, le résonnateur R, quelle que soit sa sensibilité, ne donne pas d'étincelles. Mais si l'on place dans son voisinage un autre résonnateur, et si l'on fait varier soit la direction, soit la position de celui-ci, on trouve que, dans beaucoup de cas, des étincelles se produisent dans le résonnateur R. Dans quelques-uns de ces cas, les étincelles pourraient peut-être être attribuées à la réflexion des ondes produites par le résonnateur placé près de B, mais non pas dans d'autres. De toute façon l'effet, de la réflexion doit être faible, et l'expérience prouve qu'il est négligeable.

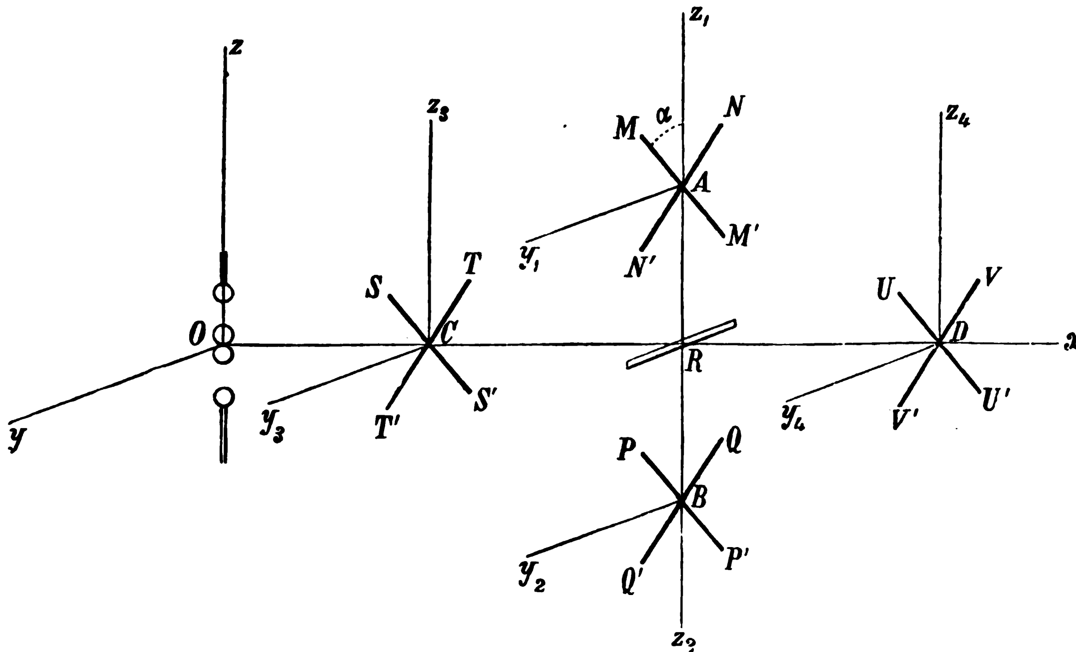


Fig. 24. — Action des ondes secondaires sur un résonnateur soustrait à l'action directe de l'oscillateur.

Parmi les innombrables positions que peut occuper le résonnateur dans les ondes secondaires agissant sur R, je ne considérerai que les principales ; je décrirai les résultats des expériences correspondantes que j'ai exécutées successivement avec les appareils I et II.

a. On place un résonnateur de façon que son centre soit un point A ou B de la verticale Z_1 Z_2 qui passe par le centre du résonnateur R, et on le dispose dans le plan y_1 AZ_1 perpendiculaire à Ox. Si le résonnateur est vertical ou horizontal, il ne se produit pas d'étincelles en R ; mais quand il est incliné, comme en MM', de façon à faire avec la verticale A_1 un angle α, il se produit en R des étincelles d'autant plus vives que la distance RA est moindre.

Si l'on prend pour unité l'amplitude des oscillations électriques en A, le résonnateur MM' est exposé à l'action d'une oscillation d'intensité $\cos \alpha$. L'oscillation $k \cos \alpha$ qui part de MM' équivaut aux deux composantes $k \cos^2 \alpha$ dirigée suivant AZ_1, et $k \sin \alpha \cos \alpha$ dirigée suivant Ay_1. C'est cette dernière oscillation, d'amplitude $\frac{1}{2} k$ et $\sin 2\alpha$, qui excite le résonnateur R. On voit ainsi que l'effet maximum en R s'obtient pour $\alpha = 45°$. C'est ce qui arrive aussi dans l'expérience suivante.

b. On place le résonnateur destiné à engendrer les ondes secondaires avec son centre en un point C ou D de la droite Ox et dans un plan y_3Cz_3, ou y_4Dz_4 perpendiculaire à Ox. Ici aussi, le résonnateur ne produit aucun effet sur R quand il est vertical ou horizontal; mais quand il est incliné, par exemple, à 45° avec la verticale, c'est-à-dire lorsqu'il occupe une des positions SS', TT', UU', VV', il fait naître des étincelles en R, par suite de l'action des ondes secondaires qu'il émet.

Dans ces expériences, le résonnateur mobile peut être un simple fil de cuivre de même longueur à peu près que R, ou un peu plus long. Si sa longueur d'onde est plus grande que celle du résonnateur fixe R, celui-ci s'excite par résonnance multiple, comme on l'a dit dans le paragraphe précédent. Il en est de même si le résonnateur mobile a une longueur d'onde de 20 cm., tandis que pour R, $\lambda = 10{,}6$ cm. Dans ce cas, l'expérience s'exécute avec l'oscillateur II.

47. *Interférence entre les ondes secondaires de deux résonnateurs.* — Quand deux résonnateurs agissent en même temps sur le résonnateur R, l'effet résultant dépend des phases relatives des deux ondes secondaires.

Pour rendre l'exposé des expériences plus bref et plus clair, je le ferai précéder de l'explication y relative.

Examinons donc d'abord de quoi dépend la phase des ondes secondaires qui parviennent en R, lorsqu'un résonnateur qui engendre ces ondes est placé avec son centre en A, B, C ou D. Soit α l'angle du résonnateur avec la verticale; dans la pratique, on doit lui donner une valeur égale à 45°, afin d'avoir des effets maxima. Cet angle sera négatif quand il est mesuré vers la droite d'un observateur regardant de x en O. De cette façon, α sera négatif pour un résonnateur placé en NN', QQ', TT', VV'. La distance entre le centre du résonnateur qui engendre les ondes secondaires et le centre R du résonnateur fixe, sera représentée par d.

Déterminons la phase des ondes secondaires en R pour différents cas, la phase qu'on obtiendrait si le résonnateur mobile était placé aussi en R, étant supposée égale à o.

1° *Résonnateur en* C, *c'est-à-dire entre l'oscillateur et le résonnateur* R. — Si le résonnateur mobile est en SS', il produit en R une vibration $\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$, comme nous l'avons déjà vu, et sa phase est o. En effet, les ondes principales sont en avance de $\frac{d}{V}$ en C par rapport à R, mais les ondes secondaires emploient un temps égal pour aller de C en R.

Pour le résonnateur TT', l'intensité de la vibration engendrée en R par l'onde secondaire est $-\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$ et sa phase est o. Cela équivaut à une vibration d'amplitude $\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$ et de phase $\pm \pi$.

Donc, suivant que le résonnateur est en SS ou en TT', les phases en R sont opposées.

2° *Résonnateur en* D, *c'est-à-dire sur le prolongement de la droite passant par l'oscillateur et le résonnateur* R. — Les ondes principales atteignent le résonnateur D avec un retard $\frac{d}{V}$, en raison de l'intervalle RD qu'elles doivent parcourir avant d'y parvenir, en plus de la distance OR. Les ondes secondaires doivent ensuite parcourir la distance d pour arriver en R. Leur phase en R est donc $\frac{4\pi d}{\lambda}$. L'amplitude de la vibration en R est après $\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$ pour le résonnateur en UU', et $-\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$ pour le résonnateur en VV'. On peut aussi dire que, pour le résonnateur en VV', l'amplitude est $\frac{1}{2} k \sin 2\alpha$ et la phase $\frac{4\pi d}{\lambda} \pm \pi$.

3° ***Résonnateur en*** A ***ou en*** B, ***c'est-à-dire sur la verticale en passant par*** R. — L'amplitude est $\frac{1}{2}k \sin 2\alpha$ pour les positions MM' et PP' et $-\frac{1}{2}k \sin 2\alpha$ pour NN' et QQ'. Dans tous les cas, la phase est évidemment $\frac{2\pi d}{\lambda}$. On peut dire aussi que, pour les positions NN' et QQ', l'amplitude est $\frac{1}{2}k \sin 2\alpha$ et la phase $\frac{2\pi d}{\lambda} \pm \pi$.

En résumé, tandis que l'amplitude de la vibration produite par les ondes secondaires en R est toujours $\frac{1}{2}k \sin 2\alpha = \frac{1}{2}k$, lorsque $\alpha = 45°$. la phase est la suivante :

POSITION DU RÉSONNATEUR	PHASE
MM'	$\frac{2\pi d}{\lambda}$
NN'	$\frac{2\pi d}{\lambda} \pm \pi$
PP'	$\frac{2\pi d}{\lambda}$
QQ'	$\frac{2\pi d}{\lambda} \pm \pi$
SS'	Q
TT'	$\pm \pi$
UU'	$\frac{4\pi d}{\lambda}$
VV'	$\frac{4\pi d}{\lambda} \pm \pi$

Quand le résonnateur qui produit les ondes secondaires est placé entre R et O, la phase en R des ondes elles-mêmes est donc indépendante de la position du point C dans le segment O R où le résonnateur se trouve.

Ceci posé, voici les principales expériences que j'ai exécutées.

Résonnateur en A ***et en*** B. — Si les deux résonnateurs sont inclinés du même côté, comme en NN' et QQ', et sont à égale distance de R, ils produisent des ondes secondaires concordantes, et on observe en R des étincelles très brillantes. En effet, leurs phases sont égales. Mais si leurs distances diffèrent de $\frac{\lambda}{2}$ leurs phases sont différentes de π, et les étincelles en R sont très faibles ou nulles.

Si, ensuite, les deux résonnateurs sont inclinés en sens contraires, par exemple, sont placés comme en MM' et QQ', et s'ils sont équidistants de R, les phases respectives de leurs ondes secondaires en R sont $\frac{2\pi d}{\lambda}$ et $\frac{2\pi d}{\lambda} \pm \pi$, c'est-à-dire différentes de π. Les étincelles en R disparaissent complètement.

Si donc un des résonnateurs est fixe en MM' et si l'autre prend alternativement les positions PP' ou QQ', les étincelles apparaissent ou disparaissent alternativement en R.

Si enfin, les résonnateurs sont placés en MM' et QQ' et si leurs distances respectives à R diffèrent de $\frac{\lambda}{2}$, les étincelles se produisent en R.

Résonnateur en A *et* C. — Si les deux résonnateurs sont inclinés à 45° du même côté, comme en MM' et SS', l'effet produit en R par leurs ondes secondaires dépend de la distance d = AR. En effet, les phases en R de ces ondes secondaires sont $\frac{2\pi d}{\lambda}$ et O. Si $d = \frac{\lambda}{2}$, les phases diffèrent de π, et on n'obtient pas d'étincelles en R. Si $d = \lambda$, les phases diffèrent de 2π, c'est-à-dire qu'elles deviennent concordantes, et l'on obtient en R de vives étincelles.

Afin qu'avec la valeur $d = \frac{\lambda}{2}$, les étincelles en R soient nulles, il faut que les amplitudes des ondes secondaires émanant de MM' et SS', soient égales, lorsqu'elles atteignent R. Pour satisfaire à cette condition, il suffit de faire varier convenablement la distance RC, laquelle, comme on l'a vu, n'influe pas sur la phase des ondes secondaires qui partent de SS'.

Si, au contraire, les deux résonnateurs sont inclinés en sens contraires, comme en MM' et TT', les phénomènes sont intervertis ; on obtient des étincelles maxima si $AR = d = \frac{\lambda}{2}$, et des étincelles minima ou nulles si $d = \lambda$. Si l'on donne à MM' une position fixe, et que l'on donne alternativement à l'autre les orientations SS' ou TT', tandis que $AR = \frac{\lambda}{2}$, on voit alternativement disparaître et apparaître les étincelles dans le résonnateur R.

Si les résonnateurs, au lieu d'être placés en A et en C, l'étaient en B et en C, les résultats seraient les mêmes.

Résonnateurs en A *et en* D. — Si ces résonnateurs sont placés parallèlement en SS' et en UU', les phases en R des ondes secondaires qu'ils produisent sont respectivement O et $\frac{4\pi d}{\lambda}$. On a donc un effet maximum en R si $DR = d = O, \frac{\lambda}{2}, \lambda$, etc., et un effet minimum ou nul si $d = \frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}$, etc. Quand, au contraire, les deux résonnateurs sont disposés en croix, par exemple, comme en TT', UU', on obtient les étincelles maxima pour $RD = d = \frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}$, etc., et des interférences pour $d = O, \frac{\lambda}{2}, \lambda$, etc.

L'expérience confirme entièrement ces déductions, et il suffit, par exemple, de tenir fixe un des résonnateurs en SS' et de donner alternativement à l'autre les positions UU' ou VV', lorsque RD est égale à $\frac{\lambda}{4}$ pour voir alternativement en R des étincelles nulles ou de très vives étincelles.

Résonnateurs en A *et* D *ou en* B *et* D. — Si les résonnateurs sont parallèles comme en MM' et en UU' et équidistants de R, les phases diffèrent de $\frac{2\pi d}{\lambda}$. Si donc les deux distances RA et RD sont égales à O, λ, etc., on obtient des étincelles maxima en R, et si elles sont égales à $\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}$, etc., on a en R des interférences. Tous les résultats intervertissent si les résonnateurs sont placés en croix, comme en NN' et UU'.

Si la distance $RA = \frac{\lambda}{2}$ est maintenue invariable, tandis que les résonnateurs sont parallèles, par exemple en MM' et UU', pour $RD = \frac{\lambda}{2}$, les phases en R sont concordantes, et l'on obtient de vives étincelles. Si, au contraire, les résonnateurs sont croisés, comme en MM' et VV', on a en R des interférences.

L'expérience vérifie complètement tous ces faits, et d'autres encore que, pour abréger, je négligerai.

Les résonnateurs qui engendrent les ondes secondaires peuvent avoir des longueurs d'ondes différentes entre elles et différentes de celle du résonnateur placé en R ; ils peuvent être formés de simples fils ou cylindres de métal, ainsi que de minces bandes de verre argenté. Tous les phénomènes décrits se produisent également, mais les distances entre les résonnateurs auxquelles correspondent les maxima ou les minima des étincelles en R sont uniquement réglées par la longueur d'onde propre au résonnateur R. Dans ces cas de résonnateurs différents entre eux, le résonnateur R est excité en raison du seul phénomène de la raisonnance multiple.

Il nous reste à tirer les conclusions des faits exposés dans ce mémoire. Ce sera l'objet d'un prochain article.

A. RIGHI,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Sur une ligne aérienne artificielle, par F. Breisig (¹).

On connaît le principe de construction des lignes expérimentales qui doivent permettre de reproduire au laboratoire les conditions électriques des lignes aériennes. Dans les lignes de grande longueur, intervient la capacité électrostatique, uniformément répartie sur toute la longueur. Comme on ne peut imiter ce mode de distribution, on répartit la capacité en un certain nombre de points en y reliant des condensateurs dont les autres armatures sont à la terre, et dont la capacité totale est égale à celle de la ligne.

La capacité des lignes aériennes est assez difficile à mesurer à cause des défauts d'isolement. Pour une ligne tendue à 8 m. de distance du sol, on a trouvé en moyenne une capacité de 0,006 microfarad par kilomètre. Par le calcul, on a trouvé 0,0058 microfarad et c'est ce nombre qui a été adopté pour la construction de la ligne artificielle.

La résistance du fil de bronze de 3 mm. de diamètre est de 2,9 ohms par kilomètre.

L'isolement d'une ligne aérienne à isolateurs ordinaires est très faible. Des mesures faites sur la ligne téléphonique Berlin-Memel, ont donné de 1.000 à 20.000 ohms, alors que la résistance propre du fil de cette ligne est de 960 ohms. Malgré cela, la perte par les défauts d'isolement est moins importante que les pertes de courant et de tension occasionnées par la capacité. Un exemple en donnera une idée.

Soit V le potentiel d'un courant alternatif en un certain point de la ligne. Nous pouvons admettre le même potentiel pour une certaine longueur l pas trop grande de la ligne. Avec une résistance d'isolement de 1 mégohm par kilomètre, la perte par les supports est de $V\,l\,10^{-6}$. La capacité de cette partie de ligne est de 0,006 l microfarad. Le courant de charge de cette capacité est donc donné par $2\pi n\ 0{,}006\ l\ V\ 10^{-6}$, en désignant par n la fréquence du courant. La quantité $2\pi n$, varie pour les courants téléphoniques entre 1.500 et 7.500. Si nous prenons pour exemple un son pour lequel $2\pi n = 4.000$, le courant de charge du condensateur est :

$$Vl\,\frac{4.000 \times 0{,}006}{10^6} = 24\,\frac{Vl}{10^6}.$$

Ce courant est donc bien supérieur à celui qui s'échappe par les défauts d'isolement des supports, lequel peut même être négligé dans la construction de la ligne artificielle.

Mais les phénomènes électriques de la ligne sont aussi affectés par la self-induction. Le coefficient de self-induction d'un fil tendu est de l'ordre de grandeur de 0,003 à 0,004 henry par kilomètre. Pour une fréquence correspondant à $2\pi n = 4.000$, l'impédance est de 12 à 16 ohms par kilomètre, tandis que la résistance inerte n'atteint que de 1,3 à 2,9 ohms.

On voit par ces considérations l'importance relative qu'il convient d'attribuer à chacun des éléments d'une ligne aérienne téléphonique.

Pour la construction de la ligne artificielle on disposait de 50 petits condensateurs au mica, de 0,05 microfarad chacun. La capacité totale de 2,5 microfarad correspond à celle d'une ligne de 430 kilomètres de longueur. Il y a donc un condensateur tous les 8 kilomètres. La résistance de la ligne est, à raison de 2,9 ohms par kilomètre, de 1.250 ohms.

C'est la reproduction de la self-induction de la ligne qui a donné le plus de difficultés. Il eût été désirable, de joindre à chaque section de 8 kilomètres une bobine de self-induction ; mais cette disposition serait devenue très volumineuse. De même, pour ne pas employer de bobines de dimensions exagérées, on a dû employer des noyaux de fer.

La disposition adoptée est celle-ci : Toutes les bobines de résistance représentant les

(¹) Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin, février 1895.

différentes sections de la ligne sont enfilées sur un même noyau en fils de fer recourbés en forme de fer à cheval. Les condensateurs sont reliés d'une part aux points de jonction de ces bobines et d'autre part à la terre. Devant le noyau se trouve une armature à écartement réglable et permettant par conséquent de faire varier à volonté la self-induction.

Cet appareil sert en ce moment à des essais comparatifs sur différents transmetteurs téléphoniques.

A. H.

L'électrolyse de l'or, par N. S. Keith [1]

L'extraction de l'or des roches aurifères au moyen des dissolvants peut intéresser les électriciens parce que, dans quelques-uns des procédés employés, l'électricité joue un rôle important.

L'or se rencontre à l'état natif en grains de toutes les grosseurs. L'extraction des grains d'une certaine grosseur n'offre pas de difficultés particulières. C'est pour recueillir les petites particules, celles dont il entre peut-être des milliers dans un milligramme, que l'on emploie les procédés dont il va être question.

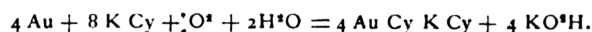
Les grosses particules d'or se séparent du minerai pulvérisé par l'amalgamation, leur poids étant suffisant pour les entraîner au contact avec la surface du mercure. Mais les particules plus légères, flottant dans l'eau, ne viennent pas en contact avec le mercure, et sont perdues pour l'amalgamation. Bien des efforts ont été faits pour employer l'électricité à extraire cet or finement divisé.

Un même élément chimique peut être électro-positif ou électro-négatif par rapport à un autre élément, suivant la nature de la solution dans laquelle ils se trouvent. Par exemple, dans l'acide sulfurique dilué, le fer est électro-positif par rapport à l'or; mais dans une solution de cyanure de potassium, l'or est électro-positif par rapport au fer. L'élément positif est toujours plus soluble que l'élément négatif.

Le fait que l'or peut être dissous par le chlore, l'eau régale, le brome, le cyanure de potassium, etc., est connu depuis longtemps. Ces faits ont d'ailleurs été appliqués dans l'extraction de l'or à l'aide du chlore gazeux, par le procédé Plattner. Des solutions ainsi obtenues, l'or est précipité par le sulfate ferreux. Le dépôt électrolytique du métal de cette solution de chlorure d'or n'est pas employé dans l'industrie. Au contraire, la dorure galvanique dans un électrolyte formé de cyanure double d'or et de potassium, se pratique depuis cinquante ans.

Pour l'extraction de l'or des roches et des minerais aurifères, le dissolvant le plus important est actuellement le cyanure de potassium. On a prétendu que l'or ne se dissolvait pas dans le cyanure. En réalité, il faut tenir compte d'un troisième facteur, l'oxygène. En effet, si l'on pose une feuille d'or à la surface d'un bain de cyanure, le métal se dissout très rapidement, tandis que plongée dans le liquide, la feuille ne se dissout qu'avec une extrême lenteur.

La nécessité de la présence de l'oxygène a été reconnue il y a cinquante ans déjà, par Elsner qui indiquait la réaction suivante :



$$4\,Au + 8\,K\,Cy + O^2 + 2H^2O = 4\,Au\,Cy\,K\,Cy + 4\,KO^2H.$$

qui s'est trouvée parfaitement confirmée par les expériences de Mac Laurin.

On a donc essayé l'emploi de beaucoup d'agents oxydants. Outre le passage de l'air dans la solution de cyanure, on s'est servi du peroxyde de manganèse, du ferricyanure de potassium, du chlore, du brome et de l'iode, du peroxyde de sodium et de l'eau oxygénée. Toutes ces substances accélèrent la dissolution de l'or; mais comme il faut en ajouter une quantité beaucoup plus grande que la quantité théoriquement nécessaire, leur emploi est dispendieux, parce qu'elles décomposent trop de cyanure.

Généralement les matières aurifères que l'on traite par les dissolvants sont des résidus pulvérulents des amalgamateurs; ils contiennent en moyenne de 7 à 9 grammes de métal pré-

---

[1] Extrait d'une communication faite à l'*Instit. of. electr. Engineers* le 14 mars 1895.

cieux par tonne. Toute économie réalisée, soit en accélérant la dissolution de l'or, soit en empêchant la décomposition du cyanure, est importante dans la métallurgie de l'or.

L'auteur dit que l'action de l'oxygène est due à la forte réaction électro-négative de l'oxygène par rapport à l'or dans une solution de cyanure. Il a donc essayé l'effet de nombreuses substances électro-négatives. Le charbon en poudre facilite la dissolution de l'or, mais seulement à la condition de rester en contact continu avec les particules de métal. Le fer produit un effet analogue, mais plus lent. L'auteur a découvert que le mercure est électro-négatif par rapport à l'or dans le cyanure. En se basant sur ce fait, il applique le procédé suivant : A la solution de cyanure de potassium (dont la teneur peut varier de 0,01 à 0,5 p. 100), on ajoute une petite quantité de cyanure double de mercure et de potassium ($2\,K\,Cy\,Hg\,Cy^2$), par exemple dans la proportion de 60 grammes par tonne de solution. L'or décompose le cyanure mercurique et s'amalgame. Dès lors, il se produit un couple voltaïque dont l'effet est la rapide dissolution de l'or, et le résidu de mercure, laissé sous une faible épaisseur, se redissout dans le cyanure pour réagir à nouveau. Dans ce procédé, les cyanures ne sont pas oxydés ; en outre, l'élément électro-négatif, le mercure, passe par un cycle de réactions, et il n'est donc pas besoin de le renouveler. On peut rendre le procédé continu en faisant passer la solution de cyanure dans les résidus aurifères, puis dans une cuve électrolytique où l'or se dépose; le même dissolvant peut ensuite resservir pour de nouvelles opérations.

Dans le procédé électrolytique Siemens et Halske, on emploie pour anodes des tôles de fer, et pour cathodes des feuilles de plomb. L'or adhère au plomb, et la séparation se fait par coupellation. Comme sous-produits on obtient un peu de bleu de Prusse, de l'oxyde ferrique et de l'hydrogène.

Le traitement par ce procédé, où la force électromotrice employée est de 4 volts, revient à 3 fr. 75 par tonne de matière première. Avec le procédé de l'auteur qui permet d'économiser la moitié du cyanure, tout le plomb et le fer, 10 p. 100 de la main-d'œuvre et les 3/4 du combustible, le prix de revient par tonne est inférieur au précédent de 1 franc environ. La force électromotrice employée pour le bain électrolytique n'est pas supérieur à 1/2 volt.

A. H.

L'électricité statique dans les imprimeries.

Nous ne connaissions pas encore, nous l'avouons humblement, la présence *abusive* et les inconvénients *exaspérants* de l'électricité statique si communs, dit-on, surtout en hiver, dans toutes les salles d'imprimerie où fonctionnent des presses.

Ils nous sont révélés par une lettre adressée, sur enquête, à l'*Electrical World*, par une importante imprimerie d'Amérique, qui indique, en même temps, le moyen employé par elle pour se débarrasser enfin de ces ennuis, après en avoir longtemps souffert.

Il est bien connu de tous les tireurs à la presse, dit le correspondant en question, que la production des salles de tirage est notablement moindre dans les mois d'hiver, en raison surtout du trouble qu'y jette l'électricité, et qui se manifeste par des taches, un tirage imparfait, un empilement inégal sur le plateau de réception des feuilles, etc., tous inconvénients nécessitant un ralentissement du débit de la presse.

Le principe du procédé employé dans cette imprimerie pour s'affranchir de ces effets, consiste à envoyer de la vapeur sous la feuille de papier, au moment exact où elle quitte le cylindre après l'impression.

Pour y arriver, on fixe au système de chauffage (il y a ici un appareil de chauffage au-dessous de chaque presse, ce qui facilite la disposition), un tuyau à vapeur perforé, et on le suspend directement sous les rubans d'avancement, à 15 ou 30 cm. de ceux-ci, selon les circonstances, ce tuyau s'étendant d'ailleurs sur toute la largeur de la presse.

Pour empêcher l'humidité de tomber en

gouttes sur la forme ou sur les rouleaux, une certaine longueur de gouttière, fermée à ses extrémités, est suspendue au-dessous du tuyau perforé, et pour assurer une égale répartition de l'humidité sur la feuille, une autre gouttière de moindre diamètre et renversée est fixée au dessus du tuyau, prévenant ainsi toute projection d'eau ou de vapeur. Un tuyau convenable d'égout est assujetti à la gouttière inférieure pour l'écoulement de la condensation.

Le dessin ci-dessous montre la disposition adoptée.

En recourant au même principe d'humidification de la feuille de papier, à sa sortie du cylindre, tout imprimeur intelligent peut appliquer ce procédé à une presse quelconque ; il fera ainsi disparaître toutes les conséquences de cet état électrique.

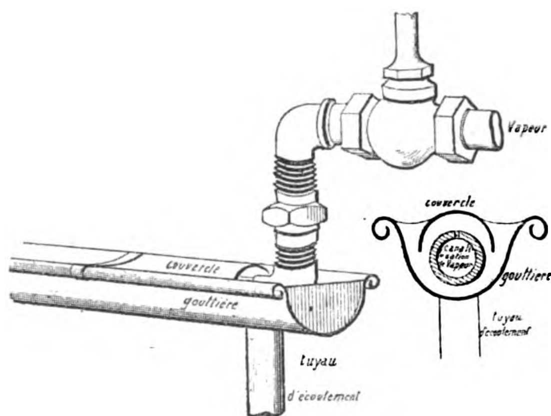


Fig. 1. — Dispositif employé pour éviter la production d'électricité dans une imprimerie.

Avant d'appliquer ce procédé à leurs presses, les imprimeurs souffraient d'une manière insupportable des inconvénients signalés : les feuilles ne se détachaient pas du cylindre et les meilleurs ouvriers n'arrivaient pas à les empiler régulièrement, tandis que le conducteur de la presse recevait souvent de fortes secousses des feuilles amoncelées sur le plateau de réception.

Ce procédé, continue le correspondant, semblera peut-être un peu compliqué à quelques-uns, et les électriciens pourront le regarder comme peu scientifique et imparfait ; mais une courte expérience sur une seule presse convaincra l'imprimeur le plus sceptique, du parfait fonctionnement de cette disposition, bien qu'il ne soit fait usage d'aucun fil.

La quantité de vapeur à employer est faible et se détermine rapidement ; il suffit de créer un léger nuage de vapeur.

Il n'en résulte aucune avarie à la surface du papier le plus finement glacé, à moins qu'on n'arrête la presse avec une feuille directement opposée à la vapeur. La machinerie n'en souffre pas davantage, comme ce serait le cas si toute l'atmosphère de la salle était au même degré d'humidité que la feuille.

Les correspondants de l'*Electrical World* terminent en disant qu'ils n'ont jamais cherché la théorie scientifique de l'opération. Ils en laissent le soin à des lecteurs plus techniques.

Cette lettre est suivie, dans le même numéro, d'une autre correspondance relative à la même question, ce qui prouve qu'elle est réellement à l'ordre du jour au delà des mers.

L'auteur prétend que l'électricité dont se plaignent nombre d'imprimeurs existe ordinairement dans le papier à son arrivée de la papeterie, mais que, sans aucun doute, la machine rotative y fournit un appoint.

Il dit avoir essayé trois remèdes contre cet inconvénient: 1° un arrosage continu du sol, dont il n'a recueilli qu'un bénéfice partiel ; 2° la fixation de fils de cuivre reliant le papier au sol ; il semble n'en être résulté aucune amélioration ; 3° l'humidification du papier par jets de vapeur s'échappant d'une conduite dont l'action a été tout à fait efficace. Il ajoute que d'autres imprimeurs sont arrivés au même résultat avec de l'air chaud. A cet effet, ils emploient un tube de cuivre, percé de trous espacés d'environ 3 à 4 cm. laissant échapper des flammes de 2,5 cm. à peu près. Ce tube est monté au-dessous du plateau d'alimentation d'une presse cylindrique et envoie un courant d'air chaud sur le papier, après impression. Ce procédé est également souverain, suivant eux. dans ses effets.

Le fait en lui-même est assez curieux pour

mériter l'attention ; mais ce dernier procédé, s'il est aussi efficace que le précédent, offre cela de particulier que, si le phénomène primitif pouvait, indépendamment de sa cause, s'expliquer par la sécheresse bien connue de l'atmosphère dans le voisinage de New-York, le dernier remède semblerait infirmer cette hypothèse, si vague qu'elle soit.

E. B.

Mesures pratiques faites sur des piles, par K. Strecker (¹).

La fabrication des piles a repris de l'importance depuis l'invention des piles sèches qui présentent un certain intérêt pour la télégraphie. Le service technique des télégraphes d'Allemagne s'en occupe beaucoup. Depuis quelques années, il employait une disposition permettant d'essayer 20 éléments à la fois ; mais cela ne suffit plus, et on a pris de nouvelles dispositions que l'auteur décrit, en donnant, en même temps, quelques résultats d'expériences.

Les essais faits sur les piles sont de nature pratique ; on s'est placé dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles les piles sont utilisées. Tandis que, par exemple, presque toutes les piles sèches peuvent être appliquées aux sonneries, peu d'entre elles sont avantageuses pour actionner les microphones.

Les méthodes d'essai qu'emploient beaucoup de fabricants de piles sèches sont les suivantes :

1° L'élément est fermé sur une sonnerie dont on a enlevé le timbre. On observe la durée de la vibration du marteau. Comme le courant est très faible, la sonnerie peut ainsi fonctionner plusieurs mois. L'essai ne donne d'indication utile que pour les piles destinées à actionner des sonneries ;

2° On mesure la force électromotrice de l'élément à l'aide d'un voltmètre. Comme la résistance de ces instruments est assez élevée, supérieure à 20 ohms, cet essai peut suffire. Puis on mesure ce qu'on appelle l'intensité de la pile en la mettant en court circuit sur un ampèremètre ordinaire. La polarisation étant dans ces conditions très rapide, la force électromotrice est beaucoup plus petite qu'à circuit ouvert, et cet essai ne donne pas de renseignements bien utiles pour des piles que l'on ne fait jamais fonctionner pratiquement dans ces conditions ;

3° Souvent on laisse l'élément en repos pendant plusieurs mois, et on refait les mêmes essais. S'il obtient alors les mêmes résultats qu'au début, le fabricant se déclare satisfait.

La force électromotrice d'un élément ne peut être mesurée strictement qu'à l'aide de l'électromètre ou d'un condensateur avec galvanomètre, mais dans la pratique, ces méthodes seraient trop compliquées. La mesure au voltmètre de plus de 20 ohms de résistance peut suffire.

L'intensité de courant peut se mesurer à l'aide d'un milliampèremètre allant jusqu'à 300 milliampères, ou encore à l'aide du voltmètre établi aux bornes d'une résistance sur laquelle l'élément débite.

Ces instruments doivent être bien amortis pour abréger la durée des mesures.

Pour la mesure de la résistance intérieure, on se sert du pont de Wheatstone avec courant alternatif et téléphone. Généralement la résistance de comparaison est de 1 ohm et le rhéocorde également d'environ 1 ohm. La pile à mesurer débite alors un courant un peu intense, ce qui n'est pas avantageux. Il est préférable d'employer la disposition modifiée que montre la figure 1.

L'élément de résistance R est intercalé dans une des branches, la résistance de mesure M, de 3 ohms, dans la deuxième branche. Les deux autres branches sont formées chacune d'une portion a ou b du fil du rhéocorde et d'une résistance r. On donne à r_1 1,5 ohm et à r_2 1 ohm. J est une bobine d'induction actionnée par quelques piles, et T un téléphone,

(¹) Communication faite à l'*Elektrotechnischer Verein*, de Berlin.

Quand l'équilibre est établi, on a :

$$\frac{R}{M} = \frac{r_1 + a}{r_2 + b}.$$

Quand on mesure de petites résistances on met r_1 en court circuit.

Ces différentes mesures doivent être faites sur les divers éléments à intervalles réguliers.

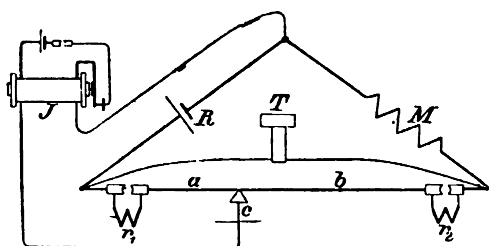


Fig. 1. — Mesure de la résistance intérieure des piles.

Pour les piles destinées à un service intermittent, le courant doit être fermé à intervalles réguliers pendant une durée donnée.

Qu'il s'agisse, par exemple, de l'essai d'un élément pour microphone. Nous estimons qu'un poste téléphonique, très souvent occupé, est utilisé pendant trois minutes tous les quarts d'heure. La résistance du circuit microphonique étant supposée de 5 ohms, il s'agit de fermer l'élément tous les quarts d'heure pendant trois minutes sur une résistance de 5 ohms.

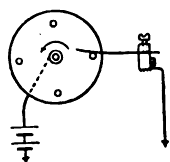


Fig. 2. — Contact pour la fermeture automatique du circuit des piles.

Il faut employer, dans ce but, un mouvement d'horlogerie. On peut se servir d'une horloge ordinaire dont on remplace les aiguilles par des cadrans portant des doigts de contact. A côté de ces cadrans, on dispose des lames de ressort que touchent les doigts au passage (fig. 2). La durée du contact se règle par la longueur de ces lames.

Comme ce réglage est assez difficile à maintenir, le bureau technique a fait construire une horloge spéciale portant également deux cadrans en remplacement des aiguilles. Ces cadrans sont percés de trous dans lesquels on peut introduire des chevilles. Pour faire un contact de trois minutes tous les quarts d'heure, on bouche les trous 1 à 3, 16 à 18, 31 à 33, 46 à 48. Les chevilles passent sous un levier qu'elles écartent, mouvement qui ferme un contact.

Pour appliquer ce mécanisme à l'essai simultané d'un grand nombre d'éléments, on établit, pour chacun de ceux-ci, un relais dont les contacts font partie d'un circuit contenant la

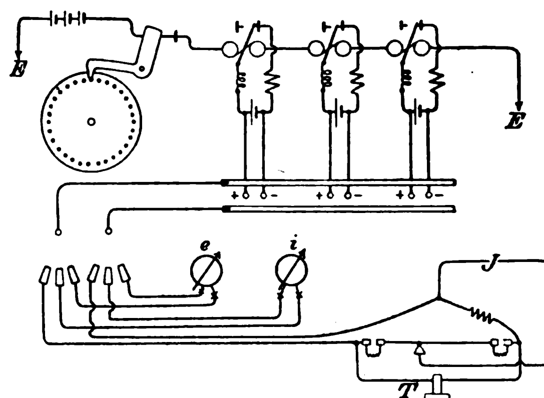


Fig. 3. — Schéma des circuits pour la fermeture automatique des circuits des piles.

pile et la résistance sur laquelle elle doit débiter. Les électros de tous les relais sont intercalés en série dans un circuit local que ferme le levier du mouvement d'horlogerie. La figure 3 donne le schéma de ce montage.

Sur les éléments ainsi mis à l'essai, on doit mesurer d'abord journellement, puis à intervalles plus espacés, la force électromotrice, la résistance intérieure et l'intensité du courant de travail. La disposition adoptée permet d'essayer 40 éléments à la fois. Deux armoires contiennent chacune 20 éléments avec les résistances et les relais correspondants. Les circuits aboutissent, à l'extérieur de l'armoire, à des boutons où les circuits de mesure viennent prendre contact.

Quant aux résultats des mesures faites

jusqu'à présent, elles n'ont qu'un intérêt assez restreint. Nous en donnons, dans les courbes des figures 4 et 5, deux exemples. Le premier correspond à un élément dont les propriétés sont satisfaisantes, tandis que le second ne

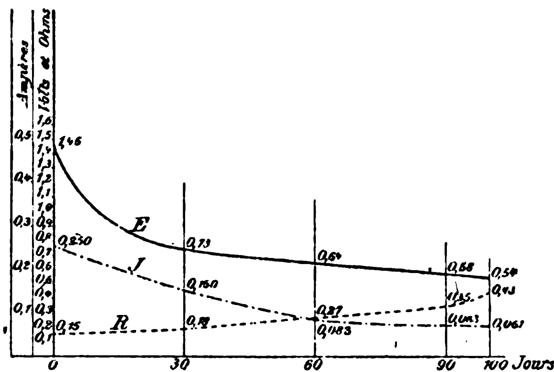


Fig. 4. — Courbes de la f. é. m., de la résistance et de la quantité d'électricité d'une pile sèche.

peut être utilisé pour un circuit microphonique. La quantité d'électricité donnée par la surface de la courbe J est quelquefois assez considérable. C'est ainsi que d'une pile sèche

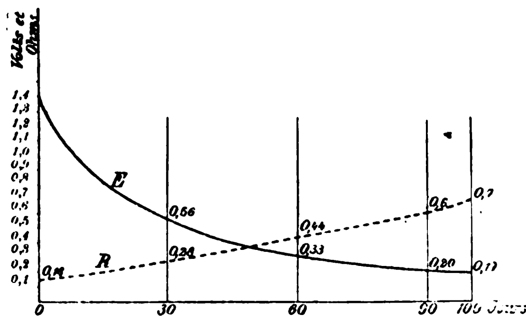


Fig. 5. — Courbes de la f. é. m. et de la résistance d'une pile sèche défectueuse.

de 17 cm. de hauteur sur 8 cm. de diamètre on a tiré, en service intermittent, jusqu'à 60 ampères-heures.

A. H.

Lampe à arc Utzinger.

Cette lampe à arc, pour courants alternatifs, construite par la Société d'électricité ancienne maison Schuckert, est basée sur le principe suivant :

Devant un électro-aimant *a* (fig. 1) dont le noyau est lamellé, et dont les pièces polaires *b*

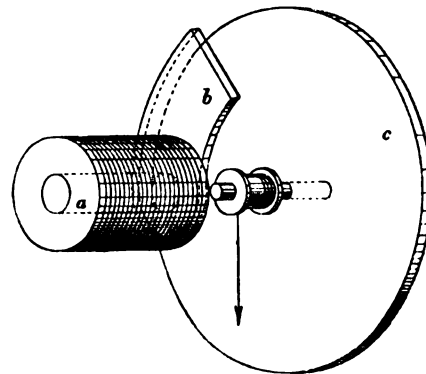
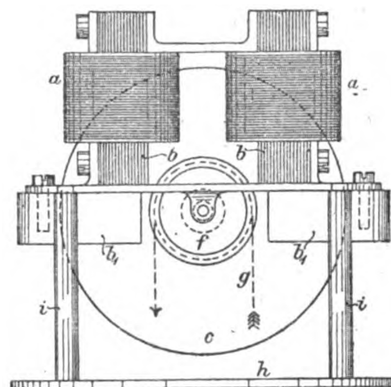


Fig. 1. — Principe du moteur régulateur.

présentent la forme indiquée par le dessin, est un disque de cuivre *c* mobile autour d'un



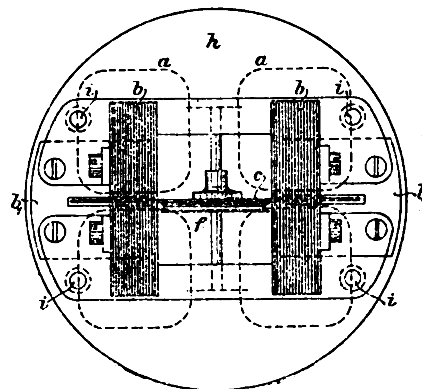


Fig. 2 et 3. — Disposition pratique du moteur régulateur.

axe. Quand l'électro-aimant est excité par un courant alternatif, le disque de cuivre est mis

en rotation, parce que à chaque inversion du courant la pièce polaire est aimantée après le noyau; il se forme une onde magnétique qui crée dans le disque de cuivre des courants de Foucault et donne lieu à un couple de rotation. Les porte-charbons de la lampe sont reliés à l'axe du disque par une disposition quelconque.

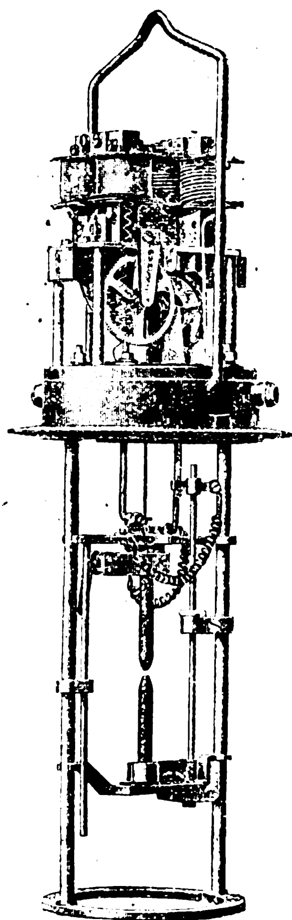


Fig. 4. — Vue d'ensemble de la lampe Utzinger.

Dans la pratique, le mécanisme (qui donne une régulation continue) est disposé comme l'indiquent les figures 2 et 3. Deux traverses *d* fixées sur les colonnettes *i* portent les électro-aimants *a* avec leurs noyaux *b* et pièces polaires b_1, ainsi que l'axe du disque métallique *c*. Les noyaux *b* sont constitués par des tôles superposées, tandis que les pièces b_1 sont en fer massif. Le disque de cuivre tourne dans des échancrures des pièces polaires. Il entraîne une poulie *f* guidant la corde *g* qui porte les charbons. La longueur de l'arc se règle par le poids plus ou moins grand des porte-charbons.

La figure 4 montre l'ensemble de la construction de cette lampe à arc à régulateur différentiel.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Pile thermochimique à charbon, par Désiré Korda (¹).

« L'expérience fondamentale de Becquerel (1855), répétée par Jablochkoff (1877), ayant établi qu'une baguette de charbon portée au rouge et trempée dans un creuset en fonte, contenant de l'azotate de soude, donne naissance à une force électromotrice avec le charbon au pôle négatif, je me suis proposé de rechercher si, lors de la réduction des oxydes métalliques par le charbon, une partie de l'énergie chimique mise en jeu ne se manifeste pas également sous forme d'énergie électrique. Parmi les différents corps que j'ai soumis jusqu'ici à mes expériences, j'en ai trouvé deux que je puis signaler comme donnant nettement une force électromotrice, une fois arrivés à une température élevée, l'un directement avec le charbon, l'autre indirectement, c'est-à-dire par interposition d'un carbonate alcalin en fusion.

« L'un de ces corps est le bioxyde de baryum qui, en se réduisant, au contact du charbon, à la température du rouge sombre, en baryte avec formation d'anhydride carbonique, fournit en même temps un voltage de près de 1 volt avec

(¹) *Comptes rendus*, p. CXX, t. 615.

le charbon au pôle négatif. Aucun des autres bioxydes (celui du cuivre, du maganèse et du plomb) que j'ai mis en contact direct avec le charbon ne m'ont permis de constater une force électromotrice dans ces conditions. Cela s'explique, car ils se réduisent à des corps bons conducteurs formant un court circuit avec le charbon et ne pouvant donner lieu qu'à des courants locaux.

« L'autre corps est le bioxyde de cuivre, avec lequel j'ai pu obtenir des forces électromotrices jusqu'à $1^{volt},1$, dès que j'ai eu l'idée de le séparer du charbon par une couche de carbonate de potassium, un sel que j'ai choisi à cause de sa résistance contre la chaleur seule, et ensuite parce que, en entrant en fusion et devenant électrolytique, il est en même temps décomposé par le charbon et réduit alors, de son côté, le bioxyde.

« En ce qui concerne la réduction du bioxyde de baryum, elle se fait suivant la formule $2BaO^2 + C = CO^2 + 2BaO$. Or, en partant du charbon amorphe, la chaleur de formation de l'anhydride carbonique est de $97^{Cal},65$ et celle du bioxyde, en partant de la baryte, est de $12^{Cal},1$; par conséquent, la réaction ci-dessus dégage $97,65 - 2 \times 12,1 = 73^{Cal},45$ correspondant à une force électromotrice de $1^{volt},58$. En effet, dans la pile Daniell, $1^{volt},08$ correspond à une chaleur de $50^{Cal},13$. La valeur de 1 volt que j'ai constatée représente donc $\frac{2}{3}$ de la valeur théorique.

« J'ai réalisé l'expérience dans des conditions très simples, afin d'éviter les influences étrangères. A cet effet, j'ai relié une plaque de charbon aggloméré, au moyen d'un fil de platine, à la borne négative d'un voltmètre Richard, divisé en dixièmes de volt, ayant 100 ohms et permettant de mesurer jusqu'à 3 volts. Un morceau de bioxyde de baryum d'un volume de 2^{cc} à 3^{cc} fut relié, par un fil de platine au pôle positif du même appareil. En tenant les fils à la main, j'ai serré, dans un bec Bunsen, le bioxyde contre le charbon, de façon que les fils restent hors de la réaction. Au rouge sombre il se produit une vive effervescence avec dégagement d'acide carbonique. En même temps, le voltmètre monte rapidement, et j'ai observé dans l'une des expériences $0^{volt},85$, dans une autre 1 volt. Ce voltage varie à peine, jusqu'à ce qu'il reste du bioxyde. Sur le charbon il se forme une masse spongieuse adhérente, de couleur grisâtre, de la baryte qui semble jouer ici le rôle d'électrolyte, en transmettant l'oxygène du bioxyde au charbon. Sur les bords, on voit des traces blanches de carbonate de baryum formé par l'anhydride carbonique qui s'échappe. La baryte se régénérant par l'oxygène de l'air à 500°C. en bioxyde, on peut s'en servir presque indéfiniment.

« J'ai répété cette expérience en plaçant les deux corps en présence dans un creuset chauffé dans un feu de coke. Au rouge sombre, le voltmètre montait jusqu'à $0^{volt},9$, mais baissait chaque fois qu'on a retiré le creuset du feu, essai que j'ai répété plusieurs fois. Pour déterminer la résistance ultérieure, j'ai mis en parallèle avec le voltmètre une résistance de 4 ohms. Immédiatement le voltmètre, qui marquait à ce moment $0^{volt},8$, descendait à $0^{volt},2$. Il en résulte une résistance intérieure de $13^{ohms},6$.

« Une disposition analogue fut choisie pour les expériences avec le bioxyde de cuivre et charbon, séparés par du carbonate de potassium pur et sec. Le tableau suivant indique la marche du phénomène lors de l'une de mes expériences :

	volt		volt
A froid.	0,0	Après 45 minutes. .	1,1
Après 9 minutes .	0,1	» 54 » .	1,1
» 15 » .	0,9	» 61 » .	1,0
» 34 » .	1,0	» 75 » .	0,9 etc.

« Pour le voltage de $1^{volt},1$, la résistance intérieure mesurée était de $3^{ohms},2$.

« Dans une autre expérience, en employant du carbonate un peu humide, le voltmètre déviait d'abord en sens contraire jusqu'à environ 1 volt avant de monter dans le sens où le charbon est au pôle négatif. Ce phénomène est dû évidemment à l'effet chimique des vapeurs d'eau qui se sont formées.

« Finalement, je dois remarquer que, en employant du charbon aggloméré, l'énergie électrique qui accompagne la réaction ne représente qu'une petite fraction de l'énergie chimique qui se manifeste surtout sous forme de chaleur, mais que, par contre, avec du graphite, tout en produisant la même force électromotrice, la quantité de cuivre et de protoxyde formé est mieux en rapport avec le faible courant qui correspond à ces piles minuscules. En aucun cas, la loi de Faraday n'est plus applicable à cause de l'énergie étrangère fournie sous forme de chauffage. »

Sur le potentiel d'une surface électrisée par M. Jules Andrade (1).

« 1. La discontinuité de la couche électrique, qui joue un rôle important dans la théorie de l'électricité statique, a été souvent démontrée. La rigueur des démonstrations n'est pas toujours incontestable. Il ne m'a pas paru sans intérêt de reprendre la question.

« 2. Soient M_0 un point situé sur une surface électrisée, et M un point voisin situé sur la normale $M_0 n_0$ à cette surface, dont on a fixé l'orientation; nous supposons que le point M_0 appartienne à une région S_1 dont l'équation à l'égard d'un de ses points P (a, b, c) puisse prendre la forme très générale suivante

$$(1)\quad \left\{ \begin{aligned} z = c &+ p(x-a) + q(y-b) \\ &+ g(x-a)^2 + 2h(x-a)(y-b) + k(y-b)^2, \end{aligned} \right.$$

p et q désignant des constantes comme a, c, b; et g, h, k étant trois fonctions finies et continues ainsi que leurs dérivées partielles des deux premiers ordres pour des valeurs suffisamment réduites des différences $x - a$ et $x - b$.

« Pour apprécier la force F exercée sur le point M chargé de la quantité $+1$ d'électricité, on prend un axe Mz prolongement du segment M_0M et un plan perpendiculaire Mxy passant par M et sur lequel on projette la surface S_1. Soient R le rayon vecteur et ψ l'angle polaire de la projection a sur ce plan d'un point A de la surface pour lequel la normale orientée aura la direction n, et sur lequel la densité électrique est λ. En nommant $\mathcal{R}$ la valeur de R pour un point de la courbe terminale de S_1, et μ la constante de la répulsion newtonienne, on exprimera la composante F_{n_0} de F, suivant la normale n_0, par la formule

$$\frac{\mu}{1} F_{n_0} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\mathcal{R}} - \frac{\lambda R z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \frac{1}{\cos \widehat{(n_0 n)}} dR\, d\psi.$$

Cette formule, au moyen de l'identité

$$\frac{\partial}{\partial R} \frac{z}{(R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} = - \frac{zR}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \frac{\partial z}{\partial R},$$

se transforme en la suivante, où $\mathfrak{L}$, A, $\mathfrak{N}$ désignent les éléments z, λ, n, relatifs à un point de la courbe terminale, et où $\lambda(M_0)$ désigne la densité électrique en M_0,

$$(2)\quad \left\{ \begin{aligned} \frac{\mu}{1} F_{n_0} = 2\lambda_{(M_0)} &+ \int_0^{2\pi} \frac{\mathfrak{L}}{(\mathcal{R}^2 + \mathfrak{L}^2)^{\frac{1}{2}}} \frac{\Delta}{\cos (n_0 \mathfrak{N}_1)} d\psi \\ &- \int_0^{2\pi} \int_0^{\mathcal{R}} \frac{z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \frac{\partial}{\partial R} \left[\frac{\lambda}{\cos (n_0, n)} \right] d\psi\, dR \\ &- \int_0^{2\pi} \int_0^{\mathcal{R}} \frac{\lambda}{\cos (n_0. n)} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \frac{\partial z}{\partial R} d\psi\, dR. \end{aligned} \right.$$

« Dans cette formule, qui suppose l'existence des dérivées

$$\frac{\partial \lambda}{\partial R}, \frac{\partial \lambda}{R \partial \psi} \text{ ou celle de } \frac{\partial \lambda}{\partial x} \text{ et } \frac{\partial \lambda}{\partial y}\ (x = R \cos \psi y = R, \sin \psi),$$

le *terme essentiel* $2\pi\lambda\,(M_0)$ provient de la quadrature immédiate

$$\int_0^{\mathcal{R}} \frac{\partial}{\partial R} \frac{z}{(R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}},$$

dans laquelle, en désignant par ζ la distance du point A au plan tangent en M_0 à la surface $z = \zeta - M_0M$, et pour la limite inférieure de la précédente quadrature $(R = o)$ $\frac{z}{(R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}}$ se réduit à $-\frac{M_0M'}{M_0M'} = -1$.

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 605.

« Lorsque le point M est remplacé par le point M' situé sur la normale $M_0 n_0$, mais de l'autre côté de la surface, on aura, l'axe des z gardant son orientation,

$$z = \zeta + M_0M',$$

et cette fois, pour $R = o$, la fraction $\frac{z}{(R^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}}$ se réduit à $+\frac{M_0M'}{M^0M'} = +1$; alors, en retranchant de l'équation (1) l'équation analogue pour le point M' et désignant par F'_{n_0} la composante normale de la nouvelle force F',

$$(3) \qquad \frac{1}{\mu}(F_{n_0} - F'_{n_0}) = 4\pi\lambda^0 + \mathcal{S}.$$

$\mathcal{S}$ désignant l'excès de la somme des intégrales du second membre de (1), où l'on fait $z = \zeta - M_0M$, sur la somme des mêmes termes où l'on ferait $z = \zeta + M_0M'$.

« Or, il est facile de s'assurer que *cet excès tend vers zéro avec la distance* MM'. Il tendrait d'ailleurs également vers zéro si le point M' se trouvait du premier côté de la surface.

« Cette dernière remarque nous montre que F_{n_0} tend vers une limite Φ_{n_0} si le point M tend vers M_0 du premier côté de la surface et que F'_{n_0} tend vers une limite Φ'_{n_0}, quand le point M' tend vers M_0 par le second côté de la surface.

» L'équation (3) nous donne alors

$$(4) \qquad \frac{1}{\mu}(\Phi_{n_0} - \Phi'_{n_0}) = 4\pi\lambda(M_0),$$

équation qu'on peut aussi établir par l'emploi d'un théorème de Gauss.

« La démonstration sera à peine modifiée et les conclusions subsistent entièrement si l'on suppose que les points M et M' tendent vers un même point P_0 de la surface, mais de deux côtés différents.

« 3. Ainsi la raison analytique de la discontinuité de la force est de même nature que celle de la Géométrie indique dans le cas d'une densité λ constante.

Variation de la longueur d'ellipsoïdes de fer, de nickel et de cobalt sous l'influence de l'aimantation, par M. Nagaoka (¹).

Ces recherches sont la continuation de celles que l'auteur avait déjà exécutées sur des fils de fer et de nickel (¹); il s'est servi cette fois des ellipsoïdes qu'avait déjà employés M. du Bois (²) dans ses expériences sur l'aimantation par des champs intenses à différentes températures.

Les trois ellipsoïdes employés avaient mêmes dimensions (l'axe de révolution $2a = 18$ cm., l'autre $2\,b = 0{,}6$ cm.,); la fonction démagnétisante a pour valeur 0,043. Le premier était du fer de Suède doux, le second contenait 99 o/o de nickel, de la silice, du fer et du cuivre; le troisième 93,1 o/o de cobalt, 5,8 de nickel, 0,8 de fer, 0,2 de cuivre, 0,1 de silice, 0,3 de carbone. Ce dernier était composé de trois morceaux dont les longueurs étaient respectivement 2,8 cm., 1,1 cm., et 5,1 cm. Les surfaces de séparation bien aplanies étaient maintenues en contact par du papier enroulé.

La bobine avait 4 cm. de diamètre intérieur, 12,4 cm. de diamètre extérieur; sa longueur $2\,l$ est 36 cm.; elle portait 425 tours de fil de cuivre de 2 mm. en quatre couches et 408 tours de fil de 4 mm. en six couches, de sorte que $4\pi\,n = 290{,}8$ (n est le nombre de tours de fil par unité de longueur). Le courant, fourni par des accumulateurs, était toujours soumis à des variations progressives. Le moment magnétique était déterminé par la méthode magnétométrique.

(¹) *Wied. Ann.*, LIII, p. 487, 1894.

(¹) *Phil. Mag.* (V), XXXVII, p. 131, 1894; (*Lum. élect.* LI, p. 337).

Voici un complément à la bibliographie indiquée dans ce mémoire : Beetz, *Pogg. Ann.*, CXXVIII, p. 193, 1886; Righi, *Mem. di Bologna* (IV), I, 1879; Cantone, *Mem. d. R. Acc. di Lincei*, VI, 1890; *Rend. d. Acc. d. Lincei*, VI, p. 252, 1890; Lochner, *Phil. Mag.* (V) XXXVI, p. 498, 1893, (*Lum. élect.* L, p. 533).

Pour la théorie : Kirchoff, *Wied. Ann.*, XXIV, p. 52 et XXV p. 601, 1885; J.-J. Thomson, *Appl. of Dyn. to Physics and Chemistry*, p. 47, 1888; Duhem, C. R. 112, p. 657, 1891; Pockels, *Arch. d. Math. u. Physik* (II), XII, p. 57, 1893.

(²) du Bois, *Phil. Mag.* (V) XXIX, p. 293, 1890.

La variation de longueur du grand axe de l'ellipsoïde était déterminée par la méthode déjà décrite.

La seule modification consistait dans le remplacement du miroir par un petit prisme à réflexion totale sur le levier. L'image du fil de cocon tendu sur la fente du spectroscope était observée, après réflexion, dans une lunette perpendiculaire au collimateur; elle est plus nette avec le prisme qu'avec le miroir. L'oculaire est remplacé par un microscope à micromètre; une division du tambour correspond à un angle de 0",474, c'est-à-dire pour une longueur du bras de levier de 1,24 mm., à un déplacement de $1,42.10^{-6}$ mm., ou à une dilatation de $0,791.10^{-8}$. L'erreur d'observation ne dépassait pas deux divisions du tambour. La méthode permet de mesurer des quantités de l'ordre du centième de la longueur d'onde du sodium, ce que l'observation des franges d'interférence permettrait difficilement.

Deux causes d'erreur ont été particulièrement étudiées. La première tient à l'élévation de température due au passage du courant (¹),

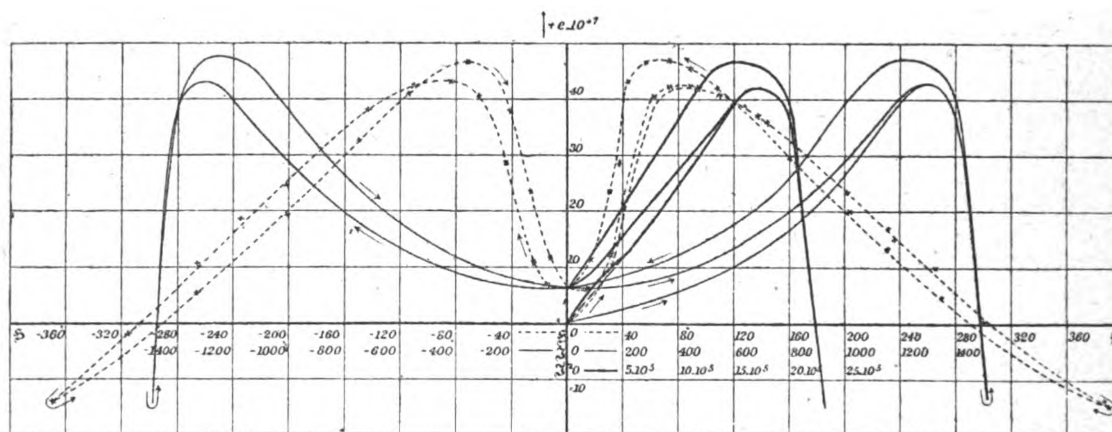


Fig. 1.

on l'a éliminée généralement jusqu'ici en donnant brusquement au courant une valeur déterminée et faisant l'observation immédiatement; mais on est obligé de désaimanter le métal après chaque expérience. L'auteur a utilisé la méthode de compensation déjà décrite (²), qu'il a perfectionnée en ajoutant un appareil à courant d'eau qui maintenait une température constante dans l'intérieur de la bobine.

L'auteur a tenu compte également de ce que le champ n'est pas rigoureusement uniforme à l'intérieur de l'ellipsoïde; les extrémités de l'axe sont poussées vers le centre, où la force est maxima, par une force dont le résultat est de déformer le corps; cette déformation ne devient notable que pour des champs intenses. Elle est ici inférieure, en valeur relative, à $0,3, 10^{-7}$ par ampère. Le centrage était réglé à 1 mm. près normalement à l'axe; suivant l'axe, un déplacement de plusieurs millimètres était sans influence.

La série des cycles à parcourir ne produit pas d'échauffement sensible; la variation de température est inférieure à 0,0004° C. par cycle, et la variation de longueur est de 5.10^{-8}.

L'auteur ne donne pas de tableaux numériques; il représente ses résultats par des courbes que nous reproduisons. Ces courbes représentent la dilatation *e* en fonction du

(¹) Il suffit d'une variation de température de 0°,2 pour masquer tous les phénomènes dans le fer.

(²) Cette méthode avait déjà été employée, comme l'a reconnu M. Nagaoka, par M. Cantone.

champ H (courbes ponctuées), de l'aimantation I (courbes continues fines) ou du carré de l'aimantation I^2 (traits forts).

1. *Fer* (fig. 1). La dilatation croît d'abord avec le champ, la courbe s'infléchit, présente un maximum, redescend et finalement on obtient une contraction. La courbe cyclique est symétrique, et son aspect ne diffère pas essentiellement de celles qu'on obtient avec des fils.

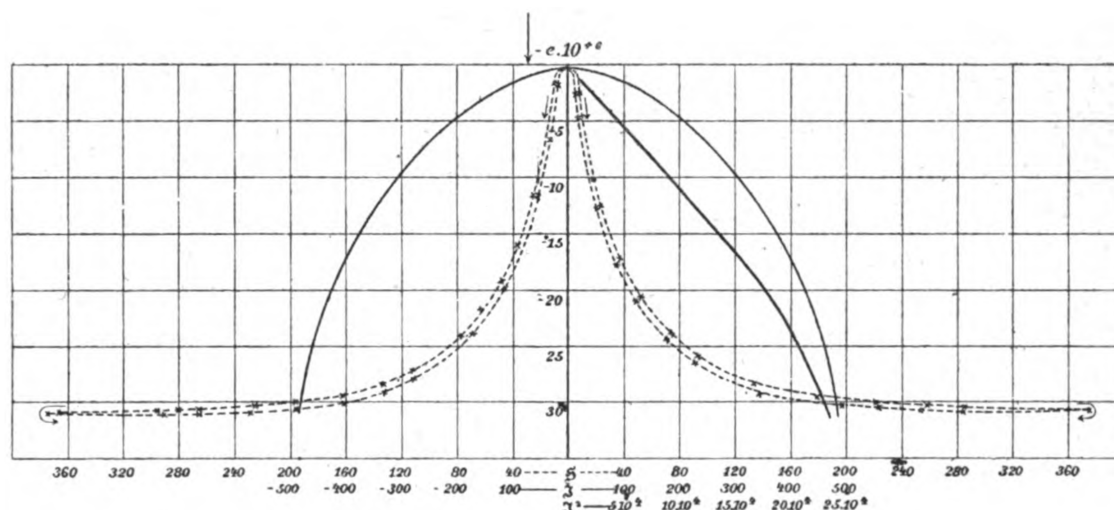


Fig. 2.

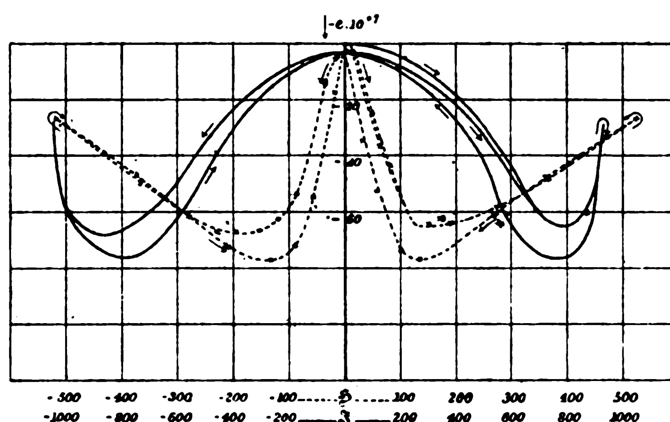


Fig. 3.

2. Le *nickel* (fig. 2) subit une forte contraction qui semble tendre asymptotiquement vers une limite. L'hystérésis, très notable dans la courbe (H, *e*), devient imperceptible dans la courbe (I, *e*).

3. Le *cobalt* (fig. 3) se contracte comme le nickel, mais il y a un maximum ; les courbes ont une forme symétrique de celles du fer par rapport à l'axe des abscisses.

Les trois courbes (I, *e*) sont symétriques par rapport à l'axe des I, et le minimum de *e* a lieu pour I = o ; *e* est donc une fonction paire de I. En construisant les valeurs de *e* en fonction I^2 on trouve que, conformément à la loi de Joule,

la *dilatation est à peu près proportionnelle au carré de l'aimantation* pour des champs suffisamment faibles. M. Cantone avait trouvé que la dilation est proportionnelle au carré du champ extérieur ; ce résultat rentre dans le précédent : il se servait en effet d'aimants pour lesquels la fonction démagnétisante était très grande ; la proportionnalité de l'aimantation au champ extérieur subsistait ainsi entre des limites très étendues.

C. R.

Distribution de l'aimantation dans un fil de nickel sous l'action simultanée de la traction longitudinale et de la torsion, par M. Nagaoka (¹).

Divers auteurs ont constaté (²) par la méthode magnétométrique, l'inversion de l'aimantation qui se produit dans des fils de nickel soumis à une traction longitudinale et à une torsion simultanées ; mais ces observations ne suffisent pas à prouver que l'aimantation se renverse sur toute la longueur du fil ; M. Nagaoka a entrepris l'étude complète de la distribution. Cette étude a déjà été faite pour le fer par M. Wiedemann.

Le fil a 30 cm. de long et 1,30 mm. de diamètre ; il est suspendu verticalement à l'intérieur d'un tube de laiton gradué le long duquel glisse une petite bobine de 5 mm. de long, fermée sur un galvanomètre de Wiedemann, dont la période d'oscillation est 8,3 secondes. La course de la bobine s'étend jusqu'à 20 cm. au-dessus de l'extrémité supérieure du fil ; près de cette extrémité est disposé un magnétomètre. La spirale qui produit le champ magnétique est à l'intérieur du tube.

Pour opérer on détermine d'abord l'action de la spirale sur la bobine d'exploration, pour un champ donné ; on introduit alors le fil, préalablement recuit ; on le charge et on le soumet à une torsion et une détorsion cycliques. On détermine alors, pour plusieurs valeurs constantes de la déviation du magnétomètre, la distribution de l'aimantation tout le long du fil.

La charge est de 2230 kilogs par centimètre carré ; la torsion de $\pm 90°$ ($\pm 3°$ par centimètre) dans les expériences dont les résultats sont représentés par les figures 1 et 2. La première donne la courbe des déviations magnétométriques en fonction de la torsion, lorsque le phénomène est devenu cyclique. La seconde

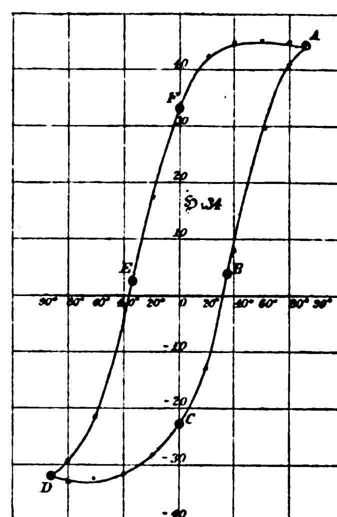


Fig. 1.

représente les déviations du galvanomètre le long du fil, pour les diverses positions A, B, C, D, E, F du magnétomètre ; on a étudié avec un soin particulier ce qui se passe au voisinage de l'inversion apparente. L'étude de ces courbes révèle immédiatement les faits suivants :

1° L'aimantation se distribue symétriquement par rapport au milieu du fil, sauf le cas où la déviation du magnétomètre est très faible ;

2° Il se produit réellement un renversement de l'aimantation (passage de A à D) ;

3° La distribution de l'aimantation est très compliquée quand la déviation du magnétomètre est très faible ; l'aimantation présente deux maxima et un minimum, le fil semble se composer de trois aimants (courbe E).

(¹) *Wiedemann's Annalen*, LIII, p 481, 1894.

(²) Nagaoka, *Journal of the College of Science, Imp. of Japan*, II, p. 283, 1888 ; *Phil. Mag.* (V) XXVII, p. 117, 1889. — (*Lum. électr.*, t. XXXI, p. 393). — Zehnder, *Wied. Annal.* XLI, p. 210, 1890. — Banti, *Mem. R. Acc. Lincei* (4) VII, 1891.

Les mêmes résultats se retrouvent en employant une torsion de $\pm$ 180° ou de $\pm$ 30° et des champs de 1,9 ou 3,7 C. G. S (au lieu de 0,34). M. Nagaoka a vérifié également que les phénomènes se produisent, dès le début de l'opération, avant qu'on soit arrivé à l'état permanent; l'ensemble de ces phénomènes a été observé avec des fils de trois provenances différentes.

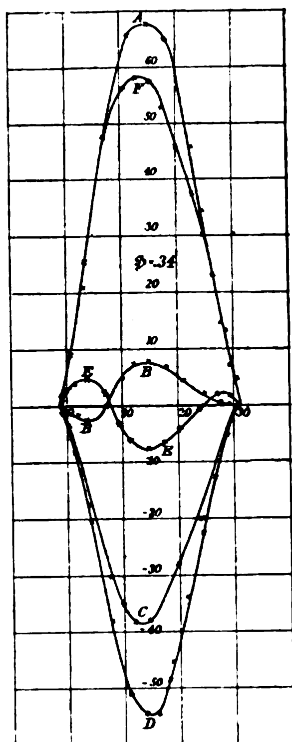


Fig. 2.

M. Banti trouve que la torsion est la condition nécessaire et suffisante du renversement de polarité; dans les conditions où opérait M. Nagaoka, la charge était absolument indispensable; avec un champ de 33,5 C. G. S, il fallait une charge de 3.000 kilogs par centimètre carré pour produire le renversement. Il reste à savoir si la nature des fils employés n'est pas la cause de ces divergences.

C. R.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Etampes. — M. Pasquet, électricien à Etampes, avait entrepris d'installer l'éclairage électrique dans cette ville. Depuis un certain temps, on n'entendait plus parler de cette affaire, et M. Pasquet justifie son abstention par les raisons suivantes :

Une Commission du Conseil municipal d'Etampes avait examiné l'affaire, mais cette Commission a été retenue par des craintes que justifie la jurisprudence actuelle.

En effet, une loi spéciale assez récente, interdit d'établir une usine centrale d'électricité sans l'autorisation du Conseil municipal, même lorsqu'il ne s'agit que de fournir l'électricité à des particuliers.

Les Conseils municipaux pouvant s'y refuser sans avoir à en donner les motifs, il en résulte que les Compagnies gazières, lorsque gaz il y a, ne manquent pas de demander des dommages-intérêts aux villes qui accordent l'autorisation d'établir une usine.

Les procès causés par cet état de choses sont du ressort de la jurisprudence administrative et voici quels sont les résultats : Sur 359 usines centrales d'électricité établies en France, 127 le sont dans des localités ayant déjà le gaz. 25 procès ont eu lieu à ce sujet entre les villes et les Compagnies du gaz. Sur ces 25 procès, 2 sont encore en suspens, 15 ont été gagnés et 8 perdus par les villes.

D'ailleurs, sur les 8 procès perdus par les villes, 7 l'ont été au Conseil d'Etat et celui-ci a rendu à ce sujet un arrêt dont voici la substance :

« En droit,

« Si les communes ne peuvent constituer au profit d'un tiers le monopole de l'éclairage privé il leur appartient pour assurer sur le territoire le service de l'éclairage, tant public que particulier, de s'interdire d'autoriser ou de favoriser, sur le domaine municipal, tout établissement pouvant faire concurrence à leur concessionnaire. »

La ville d'Etampes a donné pour quarante ans (1870-1910) à une société, le privilège exclusif de fabriquer et vendre du *gaz de houille*, elle s'est engagée à en prendre une quantité donnée pour son éclairage public; on déduit de là qu'une autre société ne pourra être autorisée à fournir de l'*électricité* même aux particuliers.

Lyon. — Le public a suivi avec intérêt la substitution de la traction électrique à la traction animale sur plusieurs lignes du réseau des tramways lyonnais et constaté la supériorité du nouveau système sur l'ancien. Cette supériorité s'est manifestée d'une façon remarquable pendant les récentes chute de neige : alors que la circulation était généralement interrompue, la Compagnie put assurer de la façon la plus régulière le service sur ses lignes pourvues de la traction électrique.

Aussi, la population lyonnaise demande-t-elle l'extension du réseau. Les communes de Saint-Genis-Laval, Oullins et La Mulatière sont, comme on sait, reliées avec Lyon par une ligne de tramways électriques. Celles de Vénissieux et Saint-Fons ont obtenu la même faveur. Les habitants des autres communes suburbaines viennent, par une pétition au Conseil municipal, de demander que leurs quartiers respectifs soient également desservis par des lignes à traction électrique.

Murel. — Le concessionnaire de l'éclairage électrique à Muret est M. Barlié. La municipalité lui payera annuellement 3.680 francs pour 120 lampes de 16 bougies.

Noyal. — L'éclairage électrique de cette petite ville a été inauguré par des projections lumineuses. La force motrice est empruntée à un moulin.

Paramé. — Nous annoncions dernièrement que la municipalité de cette jolie station balnéaire étudiait la question de l'éclairage électrique; elle vient, dans sa séance du 17 mars, d'en décider l'établissement.

On songe à fonder une Société qui devra installer une usine de 55 chevaux. Les frais d'installation de l'usine sont évalués à 67.845 francs. La commune prendra à sa charge 70 lampes, pour le prix annuel de 2.555 francs. Pour les particuliers, le prix d'abonnement sera le même, c'est-à-dire de 36 fr. 50 par lampe et par an. Dès qu'un nombre suffisant d'abonnements seront assurés, la société pourra se constituer et se mettre à l'œuvre. L'abonnement du Collège de Saint-Malo constitue d'ailleurs déjà un appoint sérieux.

Prades. — Dans une lettre adressée à la ville de Prades, en 1886, à propos d'une demande de réduction du prix du gaz, le concessionnaire de l'éclairage au gaz, M. Jauze, avait reconnu qu'il n'existait entre lui et les particuliers aucun traité qui pût les obliger à consommer les produits de sa fabrication.

Or, M. L. Rous ayant été autorisé récemment par la municipalité à établir une canalisation électrique pour l'éclairage des particuliers, les héritiers de M. Jauze viennent de lui intenter un procès, qui vient de se terminer devant le Conseil d'Etat.

Nous avons donné plus haut, à propos de la ville d'Etampes, un arrêt du Conseil relatif au droit des communes en matière de concessions pour l'éclairage privé. Ce même arrêt forme le premier considérant du nouveau jugement délibéré le 1er mars, et dont voici les autres considérants :

« Considérant que des dispositions combinées du traité intervenu, en 1877, entre la ville de Prades et le sieur Jauze, aux droits duquel sont aujourd'hui les dames Belandrade et Massal, il résulte que le dit sieur Jauze a été seul et exclusivement chargé du service de l'éclairage, tant public que particulier dans la ville de Prades, pendant une période de cinquante ans; qu'en retour certains avantages ont été assurés à la Ville; que dans la commune intention des parties, ces avantages trouvent leur compensation dans l'exercice de tous les droits concédés;

« Que si le traité réglemente uniquement l'éclairage par le gaz, il résulte de la délibération du Conseil municipal du 15 mai 1877, que ce procédé a été choisi après examen, à l'exclusion de tous les autres systèmes d'éclairage;

« Qu'en réservant d'ailleurs à son concessionnaire, par l'article 3, la faculté d'appliquer, sous certaines conditions, tout procédé d'éclairage, plus économique et en l'obligeant à la faire profiter de l'économie, la ville a précisé le sens et la partie des engagements qu'elle contractait envers Jauze et du droit exclusif qu'elle entendait lui concéder;

« Qu'il suit de là qu'en autorisant le sieur Rous à établir une canalisation sous les rues et places pour l'éclairage des particuliers par la lumière électrique, la ville de Prades a reconnu ses obligations vis-à-vis des héritières du sieur Jauze et que celles-ci sont fondées à demander l'annulation de l'arrêté par lequel le conseil de préfecture a rejeté leur demande en dommages-intérêts.

« Considérant qu'en l'état de l'instruction, il y a lieu d'ordonner une expertise à l'effet de déter-

miner le dommage déjà éprouvé par les requérantes et d'évaluer l'indemnité définitive à leur allouer dans le cas où la ville maintiendrait les autorisations données au sieur Rous.

« Décide, etc. »

On le voit, les décisions du Conseil d'État ne sont vraiment pas faites pour encourager l'industrie électrique.

Villefranche-de-Lauragais. — Dans sa séance du 13 mars 1885, le Conseil municipal a décidé d'éclairer la ville au gaz et s'est engagé pour une durée de quarante ans. Or, cette décision a été prise par 8 voix contre 5 quand le Conseil compte 21 membres, ce qui ne donne pas en faveur du projet présenté par la municipalité la majorité des conseillers municipaux.

Des propositions en vue de l'éclairage par l'électricité ont été faites à la municipalité, et celle-ci n'en a pas donné connaissance au Conseil municipal et n'a pas admis les signataires de ces propositions à se faire entendre par le Conseil municipal ou tout au moins par la commission de l'éclairage, faveur qui a été faite aux concessionnaires du projet d'éclairage au gaz.

Un grand nombre d'habitants de Villefranche viennent pour ces raisons, d'adresser au préfet de la Haute-Garonne une pétition pour obtenir qu'il refuse son approbation à cette décision de la municipalité et pour engager celle-ci à présenter un nouveau projet répondant mieux aux désirs de la population.

Yonne. — L'éclairage électrique fait de constants progrès dans ce département.

Après Auxerre, Sens, Avallon, Saint-Fargeau, Toucy, Ligny-le-Châtel, Vermenton, voici Chablis qui, à son tour, renonce au gaz. On nous annonce, en effet, que des expériences d'éclairage par l'électricité ont été faites dans cette localité et qu'elles ont admirablement réussi.

La ville de Seignelay, de son côté, réclame une usine qui fournirait également de la lumière à Héry, situé à 2 kilomètres.

Enfin on parle de relier, par un fil long de 8 kilomètres, le village de Villers-Saint-Benoît à l'usine de Toucy.

La foudre aux États-Unis. — De 1890 à 1893, la foudre a causé la mort de 784 hommes. De 1884 à 1892, elle a causé 3516 incendies, entraînant une perte matérielle d'environ 70 millions. Les bâtiments frappés par la foudre sont surtout les greniers et hangars agricoles (2335), puis les maisons particulières (664) et enfin les églises (104). La foudre semblerait avoir des préférences géologiques, car pour une fois qu'elle tombe sur la craie, elle tombe 7 fois sur l'argile, 9 fois sur le sable et 22 fois sur les terrains d'alluvion. Elle préfère de beaucoup certains arbres à d'autres : pour une fois qu'elle tombe sur le bouleau, elle frappe 15 fois les pins, et 54 fois le chêne.

Statistique des tramways électriques en Europe. — *L'Industrie électrique* donne en supplément une statistique très complète des tramways électriques en Europe, qui montre les progrès rapides de la traction électrique. En un an, le nombre de lignes exploitées est passé de 43 à 70; leur longueur totale de 305 à 700 kilomètres; la puissance des stations centrales de 10.650 à 18.160 kilowatts et le nombre de voitures automotrices de 538 à 1.236.

Le tableau ci-dessous montre que l'Allemagne est en tête de la liste, et que la France tient le second rang avec près de 100 kilomètres de lignes.

ÉTATS	LIGNES EN SERVICE			LIGNES en construction — Longueur en kilomètres
	Longueur totale en kilomètres	Puissance totale en kilowatts	Nombre de voitures automotrices	
Allemagne. . . .	366,17	5264	632	94,59
Angleterre. . . .	68,80	3443	125	34,20
Autriche-Hongrie.	44,90	1639	129	3,75
Belgique.	21,70	1130	48	—
Bosnie.	—	—	—	5,60
Espagne.	14,00	210	12	—
France.	96,26	3610	152	46,00
Italie.	18,85	870	33	22,80
Suède et Norvège	6,50	146	11	—
Portugal	—	=	—	12,80
Roumanie	5,43	140	15	—
Russie.	10,00	540	32	—
Serbie.	10,00	150	7	—
Suisse.	37,40	1008	40	2,74
Totaux . . .	700,01	18150	1236	212,48

Sur les 70 lignes que l'on compte en Europe, 55 sont à fil aérien, 3 à conducteur souterrain, 8 à rail central, dont 7 en Angleterre, et 4 à accumulateurs dont 3 en France.

Nous empruntons encore à notre confrère les renseignements suivants relatifs à la traction électrique en France.

VILLES	LONGUEUR des lignes en km.	RAMPE maxima en 0/0	SYSTÈME	NOMBRE de voitures.	PUISSANCE en kilowatts.
Clermont-Ferrand à *Royat*	7,3	5,3	Fil aérien.	20 automotrices.	270
Marseille	6,0	6,0	Fil aérien.	18 automotrices.	500
Paris . . Madeleine-Saint-Denis	8,4	2,5	Accumulateurs.	19 automotrices.	180
Paris . . Opéra-Saint-Denis	9,2	2,0			
Paris . . Saint-Denis-Neuilly	6,0				
Salève	5,7	25,0	Feeders aériens et rail isolé.	12 automotrices. 4 remorquées.	330
Bordeaux-Bouscat au *Vigan*	4,8	1,5	Fil aérien.	8 automotrices. 4 remorquées.	200
Lyon . . Oullins	5,9	6,0			
Lyon . . Saint-Genis-Laval	2,1	6,5	Fil aérien.	13 automotrices.	200
Lyon . . Vaise-Ecully	3,2	6,6		5 remorquées.	73
Le Havre. Jetée-Graville	5,3			15 automotrices.	
Le Havre. Rond-Point à Sainte-Adresse	4,9	4,3	Fil aérien.	16 »	900
Le Havre. Grand quai à Grands Bassins	3,8			9 »	
Roubaix-Tourcoing	14,5	2,0	Fil aérien.	»	300
Dijon	12,4	3,5	Ligne aérienne ou souterraine, accumulateurs.	25 automotrices.	330

LIGNES EN CONSTRUCTION

Lyon-Saint-Fons. — Ligne de 9,1 km. 10 voitures automotrices. Fil aérien.

Bordeaux-Pessac. — Ligne de 4,4 km. 6 voitures automotrices. Fil aérien.

Rouen. — Lignes d'une longueur totale de 32,5 km. 50 voitures. Fil aérien.

Enfin, lignes à traction électrique projetées au 1er janvier dernier à Avignon, Rennes, Nice, Montcenis (Saône-et-Loire), Toulon, Lille, Alger Lyon.

La téléphonie en Norvège. — Le développement si rapide de la téléphonie en Norvège est entièrement dû à l'initiative privée; l'Etat n'y a pas participé jusqu'à présent, mais il prélève sur les communications interurbaines une taxe annuelle destinée à compenser la diminution de recettes correspondante de ses lignes télégraphiques. Ces taxes sont le seul obstacle au développement de la téléphonie interurbaine.

L'*Elektrotechnische Zeitschrift* donne d'intéressants détails sur le mode d'exploitation des réseaux téléphoniques. Il n'y a aujourd'hui, dans toute la Norvège guère de village qui ne soit relié téléphoniquement avec toutes les localités de la région; bien des fermes, même les plus petites, possèdent leur téléphone. La cause de cette extension réside en ce que tous les réseaux téléphoniques ont été établis par des sociétés coopératives excluant toute spéculation, et que le téléphone est considéré comme un moyen de communication public intéressant la communauté, et que chaque habitant doit soutenir en accordant sans indemnité le terrain nécessaire pour planter les poteaux et le droit d'établir des supports sur sa maison. De même, les membres qui administrent ces sociétés ne reçoivent aucune indemnité pour leur travail.

Beaucoup de ces sociétés, surtout les plus petites dans les régions agricoles, ne possèdent pas de capital social, chaque participant devant faire les frais de ses appareils et de sa ligne. Les grandes sociétés travaillent avec un capital assez considérable; c'est ainsi que la société de Christiani possède un capital d'environ 2.240.000 francs; mais elle ne peut payer qu'entre 5 et 6 p. 100 de dividendes; si le bénéfice est inférieur à 5 p. 100 ou supérieur à 6 p. 100, le prix d'abonnement est augmenté dans le premier cas, et diminué dans le second.

Dans ces conditions, il a été possible de fixer un maximum de prix d'abonnement pour toute la Norvège; ce maximum est de 110 francs. Dans les petites villes, la taxe est encore beaucoup plus petite. Sur certains réseaux, l'abonné ne paye que 27,50 francs par an.

L'Etat avait élevé, il y a quelques temps, la prétention de reprendre tous les réseaux téléphoniques ainsi créés; on comprend les protestations unanimes qui ont accueilli cette proposition, laquelle a d'ailleurs été provisoirement abandonnée. D'autre part, les sociétés téléphoniques espèrent que l'Etat abandonnera la taxe qu'il prélève actuellement sur les communications téléphoniques interurbaines.

L'énergie électrique en douane. — Les douanes canadiennes ont décidé que l'énergie électrique produite sur la rive américaine du Niagara et conduite sur la rive canadienne sera taxée d'un droit de 20 p. 100.

Séparation électrolytique du nickel et du cobalt. — Vortmann indique une méthode facile et sûre pour séparer ces métaux. On électrolyse la solution neutre de leurs sulfates additionnée de sulfate de potasse, en renversant de temps en temps le sens du courant. L'hydroxydule de cobalt déposé à la cathode se transforme alors en hydroxyde, tandis que l'hydroxydule de nickel formé en même temps se redissout.

La voiture-ambulance électrique du Sénégal. — Tous les journaux ont relaté la mise en service à Saint-Louis d'une voiture de tramway électrique agencée en ambulance. Il s'agissait évidemment de la ville américaine de ce nom. Un confrère quotidien nous convie à imiter l'exemple de la ville de Saint-Louis « du Sénégal ». Et dire que, de l'aveu de notre confrère, cette voiture sénégalienne est chauffée électriquement!

Lignes électriques atteintes par la foudre. — Pendant la période orageuse du mois de janvier dernier on a signalé dans le midi de la France une série de coups de foudre remarquables. Nous en monterons deux qui ont atteint des circuits électriques.

A Château-les-Martigues, la foudre est tombée sur les poteaux du télégraphe, en a brisé un au ras du sol, a suivi les fils (tout en entamant plusieurs poteaux) est entrée dans le bureau et, au lieu de se perdre à la terre, a paru se retourner subitement et s'en est allée éclater sur la place de la Mairie où trois mulets ont été renversés.

A Cannes, le réseau d'éclairage a été frappé. La foudre a pénétré en suivant les fils, dans deux magasins, mais elle n'a causé que des dégâts insignifiants.

L'art appliqué aux tramways électriques. — Bruxelles, devançant en cela Paris, cherche à concilier les exigences de la traction électrique à fil aérien avec celles de l'art.

Le Conseil général de l'Œuvre de l'Art appliqué à la rue a décidé, à l'unanimité de ses membres, d'appuyer énergiquement la demande d'autorisation qui sera faite par la Société des Tramways bruxellois pour obtenir le droit d'établir des fils aériens, sous la condition d'une entente préalable avec cette Société au sujet du concours pour modèles de poteaux et appareils d'éclairage. En d'autres termes, on cherchera à présenter les fils aériens de façon aussi artistique que possible, tout en tenant compte du point de vue utilitaire.

L'Eclairage du Parlement de Londres. — Une curieuse réminiscence historique au sujet de l'installation de la lumière électrique au Parlement de Londres.

Du temps de Cromwell il était interdit d'éclairer la Chambre.

William Waddington osa, toutefois, apporter un soir, au Parlement, deux chandelles et fut condamné, de ce fait, à un jour de prison dans la fameuse Tour de Londres.

Ce n'est qu'en 1717 que les huissiers furent autorisés à apporter des lampes. Le gaz fut installé au Parlement, au milieu de ce siècle et maintenant il vient de faire place à la lumière électrique.

L'Eclairage électrique au Mexique. — Au Mexique, dit l'*Electrical Engineer*, de New-York, l'éclairage électrique promet de devenir une grande industrie. L'une des plus grandes difficultés est la cherté du combustible. La qualité la moins chère de houille se vend, à Aguas Calientes, 73 francs la tonne et elle est de qualité inférieure. La station centrale a donc recours au bois qu'elle fait expédier par le Central mexicain de Ronconderomas éloigné de 60 kilomètres de la station. Ce bois revient à environ 3 francs la tonne.

TABLE DES MATIÈRES

Appareillage.

Appareils et méthodes de mesure.

Applications mécaniques de l'électricité.

Biographie. Nécrologie.

Canalisation de l'électricité.

Conductibilité. Transmission de l'électricité.

Cours. Conférences. Sociétés savantes.

Diélectriques. Décharge disruptive.

Divers. Documents.

Eclairage électrique. Photométrie.

Eclairage au gaz.

Electro-biologie.

Electrolyse. Electrochimie.

Electro-optique. Oscillations électriques.

Génération et transformation de l'électricité.

Induction.

L'industrie électrique en France et à l'étranger.

Magnétisme.

Météorologie.

Moteurs thermiques.

Stations centrales.

Télégraphie, Téléphonie, Chronographie, Horloges électriques.

Traction électrique.

Transmission de l'énergie. Utilisation des forces naturelles.

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

JK

L

MNO

T U

V W Z

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie de la Cour d'appel, L. MARETHEUX, directeur, 1, rue Cassette.

